

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
„КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”**

**ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ  
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ ТА СИСТЕМ**

До захисту допущено  
В.о. завідувача кафедри

\_\_\_\_\_  
(підпис)      Юлія ЯМНЕНКО  
(ім'я ПРІЗВИЩЕ)

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2020 р.

**Дипломний проєкт**

**на здобуття першого (бакалаврського) рівня вищої освіти**

Спеціальність 171 Електроніка  
(код та назва спеціальності)

Спеціалізація Електронні прилади та пристрої

на тему: «Електронна система автоматизації енергоспоживання в офісних приміщеннях»

Виконав (-ла): студент (-ка) IV курсу, групи ДЕ-62

Мельник Андрій Вікторович  
(ім'я ПРІЗВИЩЕ)      \_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник ст. викл. Бевза О. М.  
(посада, науковий ступень, вчене звання, ім'я ПРІЗВИЩЕ)      \_\_\_\_\_  
(підпис)

Консультант Технічний розділ  
(назва розділу) (посада, науковий ступень, вчене звання, ім'я ПРІЗВИЩЕ)      \_\_\_\_\_  
(підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_  
(посада, науковий ступень, вчене звання, ім'я ПРІЗВИЩЕ)      \_\_\_\_\_  
(підпис)

Консультант  
з нормоконтролю доц. Чадюк В. О.  
(посада, науковий ступень, вчене звання, ім'я ПРІЗВИЩЕ)      \_\_\_\_\_  
(підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному  
проєкті немає запозичень з праць інших  
авторів без відповідних посилань

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2020 року

№ з/п	Формат	Позначення			Найменування	Кількість аркушів	Примітка		
1					Завдання на дипломний проєкт	2			
2	A4	ДП.ДЕ62.006.000 ПЗ			Пояснювальна записка	79			
3	A4	ДП.ДЕ62.006.000 ПЕ			Перелік елементів	3			
4	A4	ДП.ДЕ62.006.000 Е1			Схема електрична структурна	1			
5	A3	ДП.ДЕ62.006.000 Е3			Схема електрична принципова	1			
6	A3	ДП.ДЕ62.006.000 Е4			Друкована плата	1			

**Національний технічний університет України  
“Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського”**

Факультет електроніки

(повна назва)

Кафедра електронних пристроїв та систем

(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність 171 Електроніка

(шифр і назва)

Спеціалізація Електронні прилади та пристрої

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

В.о. завідувача кафедри

Юлія ЯМНЕНКО

(підпис)

(ім'я ПРИЗВИЩЕ)

" \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2020 р.

**З А В Д А Н Н Я  
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ СТУДЕНТУ**

Мельник Андрій Вікторович

(ім'я ПРИЗВИЩЕ)

1. Тема проєкту «Електронна система автоматизації енергоспоживання в офісних приміщеннях»

Керівник проєкту ст. викл. Бевза О. М

(посада, науковий ступень, вчене звання, ім'я ПРИЗВИЩЕ)

затверджені наказом по університету від « 25 » травня 2020 року № 1196-с

2. Термін подання студентом проєкту « 9 » червня 2020 року

3. Вихідні дані до проєкту

Напруга живлення системи – 10 В – 12 В; максимальний струм споживання системою – 500 мА; Напруга живлення контрольованого приладу – ~220 В; максимальна потужність контрольованого приладу – без радіатора на драйвері 100 Вт, з радіатором до 500 Вт; інерційність реакції системи – від 1 мс.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік завдань, які потрібно розробити)

Ознайомлення з принципом роботи, перевагами та недоліками датчиків присутності та руху, огляд існуючих систем керування, пошук способів обробки сигналів та аналізу інформації з датчиків і розробка системи автоматизації енергоспоживання.

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо)

Ілюстрацій 50, таблиць 2, креслеників 3.

6. Консультанти розділів проєкту

Розділ	Ім'я ПРИЗВИЩЕ, посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Технічний			

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_ 2020 р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Строки виконання етапів проєкту	Примітка
1	Літературний огляд	10.04.2020	
2	Аналіз роботи датчиків	20.04.2020	
3	Розробка структурної схеми	01.05.2020	
4	Розробка принципової схеми	03.05.2020	
5	Розробка друкованої плати	07.05.2020	
6	Написання пояснювальної записки	22.05.2020	
7	Виконання креслення	27.05.2020	

Студент

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Мельник А. В.

(ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Керівник проєкту

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Бевза О. М.

(ім'я ПРИЗВИЩЕ)



## АНОТАЦІЯ

В дипломному проєкті представлено огляд науково-технічної літератури по датчикам присутності та руху. Показано перспективи використання таких пристроїв для проєктування систем автоматизації енергоспоживання пристроїв, що виконують роль освітлення в офісних приміщеннях. Приведено результати дослідження фізико-математичної моделі системи, що складається з обраних датчиків, та результати розрахунку параметрів та характеристик даного пристрою автоматизації енергоспоживання. Результати експериментальних випробувань відрізняються від теоретичних розрахунків на 15-20%, отриманих при програмному моделюванні системи. Відстань, з якої пристрій починає фіксувати присутність людини за допомогою ємнісного датчика, відрізняється від розрахованої у допустимих межах. Пристрій при цьому спрацьовує, якщо рівень освітленості у приміщенні менше за встановлений поріг при калібруванні, і, якщо промені фотоелектричних датчиків були перетнутими у правильному порядку. Розроблена конструкція, структурна, функціональна та електрична принципова схеми системи автоматизації енергоспоживання, яка забезпечує виконання наступних функцій:

- увімкнення пристроїв освітлення (ламп) при наявності у приміщенні однієї і більше людей та при рівню освітлення, що є нижче встановленого користувачем порогу;
- надання можливості калібрування порогової ємності датчика присутності (калібрування ємності);
- надання можливості встановлення порогового значення освітлення приміщення (калібрування ємності);
- показ кількості людей у приміщенні за допомогою дисплея та відображення стану системи за допомогою відповідних індикаторів;
- надання можливості ручного керування освітленням.

## ANNOTATION

The diploma project presents a review of scientific and technical literature on the presence and motion sensors. Prospects for the use of such devices for the design of systems for automation of energy consumption of devices that perform the role of lighting in office space are shown. The results of the study of the physical and mathematical model of the system, consisting of selected sensors, and the results of the calculation of parameters and characteristics of this device for automation of energy consumption are presented. The results of experimental tests differ from the theoretical calculations by 15-20% obtained by software modeling of the system. The distance from which the device begins to fix the presence of a person using a capacitive sensor, differs from the calculated within acceptable limits. The device is activated if the light level in the room is less than the set threshold during calibration, and if the rays of the photoelectric sensors have been crossed in the correct order. Developed design, structural, functional and electrical schematic diagrams of the system for automation of energy consumption, which provides the following functions:

- switching on lighting devices (lamps) if there are one or more people in the room and when the lighting level is below the user-set threshold;
- providing an opportunity to set a threshold capacity of the presence sensor (capacitance calibration);
- providing an opportunity to set a threshold value for room lighting (lighting calibration);
- showing the number of people in the room using the display and displaying the status of the system using the appropriate indicators;
- enabling manual lighting control.

# ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ	
I ТЕРМІНІВ.....	9
ВСТУП.....	10
1 ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....	12
1.1 Датчики руху.....	12
1.1.1 Інфрачервоний датчик руху .....	12
1.1.2 Ультразвуковий датчик руху .....	15
1.1.3 Радіохвильовий датчик руху .....	18
1.1.4 Фотоелектричний датчик руху .....	20
1.2 Датчики присутності.....	23
1.2.1 Ультразвуковий датчик присутності.....	24
1.2.2 Фотоелектричний датчик присутності.....	25
1.2.3 Ємнісний датчик присутності.....	26
1.2.4 Акустичний датчик присутності.....	30
1.2.5 Інфрачервоний датчик присутності.....	31
1.2.6 Датчик навантаження.....	33
1.3 Запобіжні заходи .....	34
1.4 Загальні схеми підключення датчиків.....	35
1.5 Система керування .....	36
1.6 Вимірювальна схема ємнісного датчика.....	38
1.7 Система фотоелектричних датчиків.....	41
1.8 Датчик освітлення .....	42
1.9 Обробка сигналів датчиків та керування освітленням.....	44
1.10 Блок керування та блок індикації системи .....	47
1.11 Драйвер.....	49
1.12 Блок живлення .....	50

					ДП.ДЕ62.006.000 ПЗ				
Змн.	Арк.	№ докум.№	Підпис	Дата					
Розроб.		Мельник А. В.			Електронна система автоматизації енергоспоживання в офісних приміщеннях		Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Бевза О. М.						7	79
Реценз.							«КПІ ім. Ігоря Сікорського», ФЕЛ,		
Н. Контр. Н.		Чадюк О. В.					ЕПС, гр. ДЕ-62		
Затверд.		Бевза О. М.							
Пояснювальна записка									

Висновки до розділу 1.....	53
2 РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ В ОФІСНИХ ПРИМІЩЕННЯХ.....	55
2.1 Засоби розробки.....	55
2.2 Розробка структурної схеми.....	55
2.3 Розробка принципової схеми .....	60
2.3.1 Розробка ємнісного датчика.....	60
2.3.2 Налаштування фотоелектричних датчиків та датчика освітлення ...	62
2.3.3 Розробка системи керування.....	63
• Обробка сигналу ємнісного датчика.....	63
• Обробка сигналів фотоелектричних датчиків.....	64
• Обробка сигналу датчика освітлення .....	64
• Розробка драйвера системи керування .....	65
• Розробка блоку вводу інформації.....	66
• Розробка блоку індикації .....	66
2.3.4 Живлення схеми .....	67
2.4 Програмування мікроконтролера .....	69
2.4.1 Алгоритм програми.....	70
2.5 Калібрування.....	71
Висновки до розділу 2 .....	73
3 МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ЕНЕРГО- СПОЖИВАННЯ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА ЄМНІСНОГО ДАТЧИКА .....	74
Загальні висновки .....	79
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ. ....	82

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

СК – система керування;  
МК – мікроконтролер;  
АЦП – аналого-цифровий перетворювач;  
ВЧ – високочастотний;  
ЄД – ємнісний датчик;  
ФД – фотоелектричний датчик;  
ОД – датчик освітлення.

Програматор – пристрій, що читає, стирає та записує пам'ять мікроконтролерів та мікросхем пам'яті за допомогою персонального комп'ютера.

Прошивка – виконавчий програмний код, розроблений у спеціальному програмному середовищі, котрий читається або записується у пам'ять мікроконтролера для подальшого його виконання.

Ф'юз-біти – (від англ. fuse – перемичка, запобіжник) – набір конфігурацій у вигляді бітів, що представляють собою так звані програмні перемички, за допомогою яких окремо від програмного коду налаштовується режим роботи мікроконтролера, увімкнення або вимкнення функцій чи модулів, встановлення захисту за читання або перезапис пам'яті мікроконтролера тощо. Дані біти ще називаються конфігураційними.

Розпіновка – схема, на якій показана нумерація, назви або функції виводів електричного компонента.

					ДП.ДЕ62.006.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВСТУП

У сучасному світі є дуже актуальним питання автоматизації тих чи інших процесів, що так або інакше пов'язані з повсякденним життям людини, за допомогою спеціальних систем. Такі системи можуть мати різне призначення та виконувати найрізноманітніші операції, основною метою яких може бути підвищення комфорту вдома чи на роботі, досягнення більш ефективного виконання того чи іншого процесу тощо.

На сьогоднішній день існує досить відома система, що називається «розумний дім». Це система, яка автоматизує частину дій або процесів, з якими кожен день зустрічається людина. До таких дій можна віднести автоматичне регулювання або увімкнення світла при знаходженні осіб у приміщенні, автоматичне регулювання температури, зачинення дверей, контроль за безпекою та багато іншого.

Основними ланками такої системи є набір датчиків, пристрій керування, пристрої впливу на об'єкти або на навколишнє середовище та засоби вводу й виводу інформації про стан системи.

Датчик – це елемент або пристрій, що перетворює одну фізичну величину з навколишнього середовища (температуру, вологість, освітлення, тиск тощо) в іншу (найчастіше в електричний сигнал). Це основний елемент, який дає можливість спостерігати за змінами у контрольованому середовищі та надавати цю інформацію для аналізу у систему керування. Серед усіх типів найчастіше використовуються датчики присутності та руху. Цього у багатьох випадках достатньо для чіткої реєстрації присутності або дій людини у контрольованому середовищі – приміщенні, дворі тощо. Електричні сигнали з чутливих елементів проходять напряду або через схеми підсилення чи конвертації на систему керування.

Система керування являє собою пристрій, що аналізує інформацію, яка поступила від одного або декількох датчиків, та, в залежності від конкретних, закладених у неї функцій та налаштувань, надсилає сигнали керування на відповідні пристрої (освітлювальні лампи, сервоприводи, нагрівачі тощо),

					ДП.ДЕ62.006.000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

завдання яких вплинути на об'єкт або на навколишнє середовище: відкрити двері, увімкнути світло, увімкнути сигналізацію, збільшити обігрів кімнати та інші. Система керування може знаходитися як всередині датчика, так і бути у вигляді окремого пристрою.

У даній роботі розглядаються можливості, використання, переваги та недоліки датчиків присутності та руху. За проаналізованою інформацією обираються датчики, на основі яких проектується система керування, яка у сукупності з ними буде виконувати роль системи автоматизації енергоспоживання приладів, що відповідають за освітленість в офісних приміщеннях.

До основних параметрів даної системи можна віднести:

- напруга живлення системи – 10 В – 12 В;
- максимальний струм споживання системою – 500 мА;
- порогова ємність спрацювання (задається при калібруванні);
- пороговий рівень освітленості спрацювання (задається при калібруванні);
- напруга живлення контрольованого приладу (лампи освітлення) – змінна напруга 220 В;
- максимальна потужність контрольованого приладу – без радіатора на драйвері 100 Вт, з радіатором до 500 Вт;
- інерційність реакції системи – від 1 мс.

Окрім регулювання освітленням даний пристрій повинен надавати користувачеві можливість налаштовувати роботу системи, калібруючи деякі параметри за допомогою пристроїв введення. До таких параметрів відноситься порогова ємність та пороговий рівень освітленості. Інформація про стан системи повинна відображатися на відповідних індикаторах та дисплеї.

					ДП.ДЕ62.006.000 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 1. ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

Перед тим, як розпочати проектування системи, потрібно проаналізувати які на даний момент існують пристрої, завдання яких слідкувати за змінами у середовищі, що контролюється. Такі пристрої називаються сенсорами або датчиками. Датчики за способом спостереження поділяються на два типи: присутності та руху.

### 1.1. Датчики руху

Датчик руху – це пристрій, який відстежує пересування об'єктів, в першу чергу людини. Він застосовується для того, щоб автоматизувати роботу електроприладів, камер відео спостереження тощо. Найчастіше такий прилад використовується для ввімкнення освітлення і сигналізації [1].

Датчики руху за фізичними явищами поділяють на:

- інфрачервоні;
- ультразвукові;
- радіохвильові;
- фотоелектричні.

#### 1.1.1. Інфрачервоний датчик руху

Принцип дії інфрачервоного датчика руху заснований на аналізі теплового (інфрачервоного) випромінювання (Рис. 1.3). Пасивний інфрачервоний датчик (PIR) при цьому не випускає ніякого випромінювання, а лише аналізує теплові промені, що потрапляють на його чутливі елементи.

Усередині датчика розташовуються зазвичай два чутливих елемента, що вимірюють потік інфрачервоного випромінювання. Перед кожним з чутливих елементів датчика встановлена лінза Френеля, яка фокусує на ньому падаючі на датчик інфрачервоні промені.

					ДП.ДЕ62.006.000 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



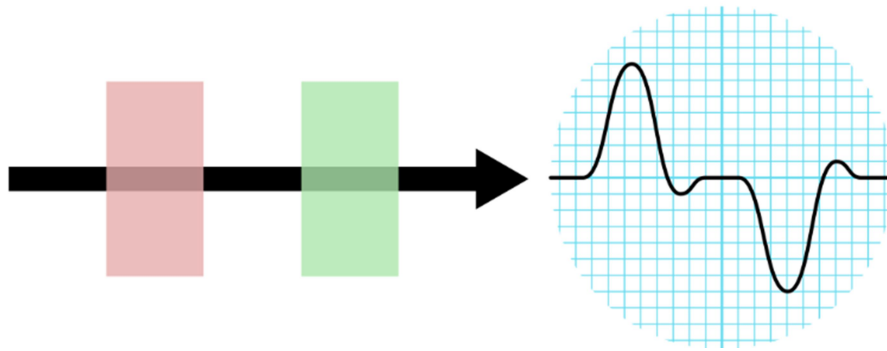


Рис.1.1 Рух теплового випромінювання та вихідний сигнал [2]

Найпростіший датчик сконструйований так, що зовнішній простір розділений між двома лінзами і чутливими елементами. Кожна з лінз проектує теплове випромінювання зі своєї зони огляду на свій чутливий елемент. У звичайних умовах інтенсивність випромінювання на обидві частини датчика надходить приблизно однакова. Коли в полі зору з'являється об'єкт, який випромінює інфрачервоні промені (наприклад, людина), випромінювання спочатку потрапляє в поле зору тільки однієї частини датчика, при цьому свідчення двох чутливих елементів починають різнитися. Це є сигналом руху [2].

В реальних умовах датчик з двома лінзами був би занадто ненадійний, тому в багатьох моделях датчиків встановлюють не одну пару лінз, а кілька десятків. Лінзи датчиків легко помітні на корпусі – це характерна коміркова структура з напівпрозорим віконцем, за яким розташовуються чутливі елементи.

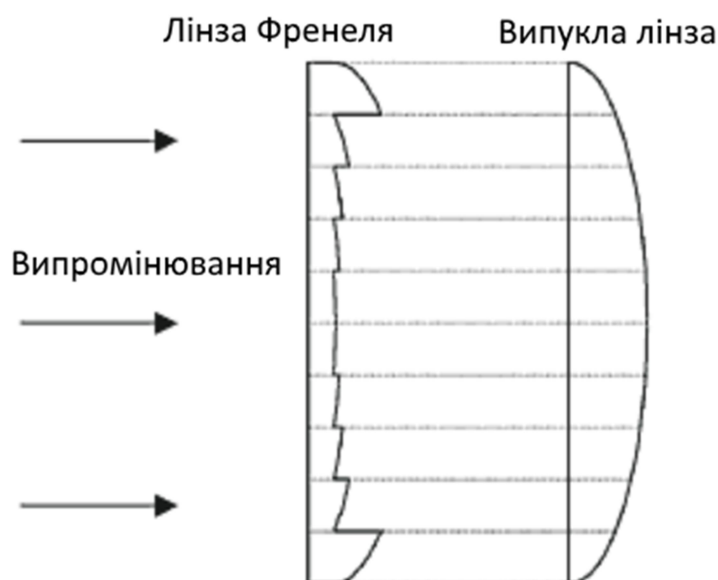


Рис. 1.2 Проходження інфрачервоного випромінювання через систему лінз [2]

Для економії місця і матеріалів датчик конструюють так, що всі лінзи фокусують вхідне випромінювання тільки на двох чутливих елементах. Таким чином навколишній простір розділяється на зони огляду між парами лінз, кожна з яких здатна фіксувати рух у своїй зоні огляду [2].

В основному в якості чутливого елемента використовуються піроелектричні чутливі елементи. Менш поширені термопарні датчики, мікроболометр і напівпровідникові детектори інфрачервоного випромінювання з арсенід галію-індію (InGaAs) і телурид ртуті-кадмію (MCT) [3].

Інфрачервоні детектори найчастіше використовуються і в житлових приміщеннях, і на вулиці [1].

Переваги інфрачервоних датчиків руху:

- відносно точне регулювання дальності і кута спостереження за рухомими об'єктами;
- датчики підходять для роботи на відкритому повітрі;
- інфрачервоні детектори безпечні для здоров'я людини і не викликають занепокоєння у домашніх тварин.

Недоліки інфрачервоних датчиків руху:

- помилкові спрацьовування через теплі потоки повітря, які можуть виходити від радіаторів опалення, кондиціонерів і т. д. ;
- точність роботи на вулиці знижується через дощ і снігу, яскравого сонячного світла, що потрапляє на фотоелемент випромінювача;
- апарат має вузький діапазон робочих температур.



Рис. 1.3 Інфрачервоний (PIR) датчик руху [1]

### 1.1.2. Ультразвуковий датчик руху

Принцип роботи ультразвукового датчика заснований на вимірюванні звукових хвиль, частоти яких знаходяться за порогом чутливості людини.

Спеціальний елемент всередині датчика періодично випромінює серії ультразвукових хвиль. Частота несучої сигналу знаходиться в діапазоні від 65 кГц до 400 кГц, а частота послідовності серії сигналів – від 14 Гц до 140 Гц, в залежності від типу датчика. Після посилки датчик перемикається в режим прийому і очікує повернення відбитих хвиль, приймає їх і потім аналізує їх.

Якщо обстановка в зоні спостереження датчика залишається незмінною, випромінені ланцюжки хвиль щораз повертаються відбитими однаково, але, якщо відбувається рух, то хвилі змінюються за інтенсивністю або по частоті (ефект Доплера), на підставі чого робиться висновок, що обстановка в зоні

					ДП.ДЕ62.006.000 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

спостереження змінилася. Коли величина цих змін перевищує встановлений поріг чутливості, датчик спрацьовує [4].

Відстань  $L_0$  до об'єкта можна визначити за швидкістю ультразвукових хвиль  $v$  у середовищі та куту  $\theta$  (Рис. 1.4):

$$L_0 = \frac{vt \cos \theta}{2}, \quad (1.1)$$

де  $t$  – час, за який ультразвукова хвиля розповсюджується від випромінювача до об'єкта і назад до приймача. Якщо випромінювач та приймач розташовані неподалік один від одного у порівнянні з об'єктом, то  $\cos \theta = 1$ .

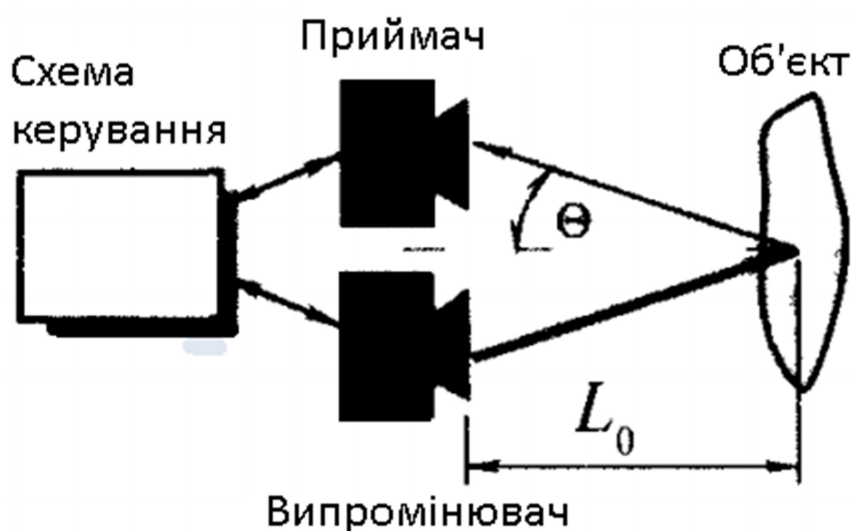


Рис. 1.4 Принципова схема ультразвукового датчика руху [5]

Як генератор ультразвуку в датчику зазвичай використовується кварцовий або керамічний п'єзоелектричний випромінювач або спеціальна мембрана, що вібрує під дією електростатичного поля [4].

Ультразвукові датчики (Рис. 1.5) широко застосовуються в різних сферах виробництва, і в деякому роді є універсальним засобом вирішення багатьох завдань автоматизації технологічних процесів [1].

#### Переваги ультразвукових датчиків руху:

- джерела теплового випромінювання, наприклад, радіатори опалення не призводять до помилкового спрацювання датчиків;
- підходять для використання в умовах високої вологості і запиленості;
- рух об'єкта визначається незалежно від того, виходить від нього теплове випромінювання чи ні.

#### Недоліки ультразвукових датчиків руху:

- прилади працюють тільки направлено;
- через загасання детектори ультразвукових хвиль не підходять для великих приміщень;
- застосування неможливо на відкритому повітрі, так як існує занадто багато рухомих природних об'єктів, які призводять до спрацювання датчика;
- ультразвукові детектори здатні вловити тільки різкі переміщення;
- ультразвукові сповіщувачі негативно впливають на тварин, що сприймають ультразвук.



Рис. 1.5 Ультразвуковий датчик руху [1]

					ДП.ДЕ62.006.000 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 1.1.3. Радіохвильовий датчик руху

Томографічні (радіохвильові) і мікрохвильові датчики діють так само, як ультразвукові, але аналізують відображення не акустичних, а радіохвиль (Рис. 1.6).

Оскільки радіохвилі здатні проходити через неметалеві перепони, наприклад через стіни і дерев'яні меблі, радіохвильові датчики придатні для контролю простору за такими перешкодами. Радіохвильові датчики досить дорогі, і тому їх зазвичай використовують для спостереження за великими комерційними площами, наприклад за складськими приміщеннями.

Радіохвильовий датчик руху випромінює високочастотні електромагнітні хвилі (частота хвиль може бути різною в залежності від виробника, зазвичай вона становить 5,8ГГц), які, відбиваючись від навколишніх об'єктів, реєструються сенсором, і, в разі виявлення найменших змін відбитих електромагнітних хвиль, мікропроцесор пристрою пускає в хід закладену в нього функцію.

Робота радіохвильового датчика руху багато в чому схожа з описаним вище ультразвуковим датчиком руху і заснована на взаємодії мікрохвиль з матеріалом та використанні ефекту Доплера – зміна частоти хвилі, відбитої від рухомих об'єктів [4].

Згідно з теорією відносності частота відбитої хвилі визначається за формулою:

$$f_r = f_0 \frac{\sqrt{1 - (v/c_0)^2}}{1 + v/c_0}, \quad (1.2)$$

де  $f_0$  – робоча частота датчика,  $v$  – швидкість пересування об'єкта,  $c_0$  – швидкість світла у вакуумі.

На практиці величиною  $(v/c_0)^2$  можна знехтувати, оскільки вона дуже мала у порівнянні з одиницею. Тоді формула для частоти відбитих хвиль приймає наступний вигляд [5]:

					ДП.ДЕ62.006.000 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$f_r = f_0 \frac{1}{1 + v/c_0}.$$

(1.3)

Коли в зоні виявлення мікрохвильового датчика руху з'являється або переміщається струмопровідний об'єкт, це реєструється датчиком і відразу надходить сигнал на виконання вбудованої в нього функції.

Потужність випромінювання зазвичай порівняно менше, ніж у деяких побутових пристроїв таких як мікрохвильова піч, мобільний телефон та Wi-Fi роутер [4][6].

Таблиця. **Помилка! У документі відсутній текст указанного стилю..1**  
Порівняльні характеристики побутових приладів та датчика

	Мікрохвильова піч	Мобільний телефон	Wi-Fi роутер	Радіо- хвильовий датчик
Потужність, Вт	1000	1	0,1	0,01
Частота, ГГц	2,45	1,8	2,4	5,6

Переваги радіохвильових датчиків руху:

- здатні вловити рух об'єктів з малою швидкістю;
- надвисокочастотне випромінювання проходить через перешкоди, які погано проводять струм (скло, міжкімнатні перегородки, двері та ін.);
- на роботу датчика не впливає температурний режим фону або сила теплового випромінювання об'єктів;
- радіохвильовий датчик має більш компактні розміри, ніж його аналоги.

Недоліки радіохвильових датчиків руху:

- датчики на відкритому повітрі демонструють велике число помилкових спрацьовувань, крім того вони реагують на перешкоди поза зоною спостереження, які знаходяться за дверима, за вікном і т. д.;
- радіохвильові випромінювачі шкідливі для людського здоров'я, тому потужність їх випромінювання не повинна перевищувати 1 мВт / см<sup>2</sup>.



Рис. 1.6 Радіохвильові датчики руху [1]

#### 1.1.4. Фотоелектричний датчик руху

Принцип дії фотоелектричного датчика заснований на виявленні переривання пучка світлових променів, при затіненні якого він спрацьовує. Зазвичай цей датчик складається з двох частин, одна з яких випромінює світло, а інша приймає. У приймальній частині знаходиться фотоприймач, в якому під дією падаючого світла виникає електричний струм. Коли світловий пучок перекривається будь-яким тілом, на приймач перестає падати світло, і датчик спрацьовує.

У фотоелектричних датчиках також часто використовують невидиме інфрачервоне випромінювання [7].

Залежно від використовуваного методу роботи, фотоелектричні датчики прийнято ділити на чотири групи.

1. За принципом перетину променя. В цьому випадку випромінювач і приймач працюють з ним в парі та мають два окремих корпуси, оскільки цього

					ДП.ДЕ62.006.000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



вимагає технологія роботи. Два прилади встановлюються один напроти одного, а при взаємодії випромінювач посилає промінь, який сприймається приймачем. Якщо будь-який об'єкт перетинає цей промінь, то прилад посилає відповідний сигнал (Рис. 1.7).



Рис. 1.7 Фотоелектричний, що працює за принципом переривання променя [8]

2. За принципом відображення від рефлектора. Подібні прилади характеризуються тим, що у них випромінювач і приймач розташовуються в одному корпусі. Крім цього, також використовується спеціальний рефлектор, який встановлюється навпроти приладу. Під час роботи пристрій посилає промінь, він відбивається від рефлектора і сприймається приймачем. Спеціальний поляризаційний фільтр дозволяє налаштувати роботу обладнання так, щоб пристрій сприймав тільки відображення від рефлектора і нічого іншого. Рефлектори бувають різними, тому їх вибирають, виходячи з наявної ситуації – дальності відстані і особливостей монтажу. Якщо під час роботи промінь перестає відображатися і надходити до приймача, значить, на лінії з'явився якийсь об'єкт, і пристрій передає сигнал про це (Рис. 1.8).

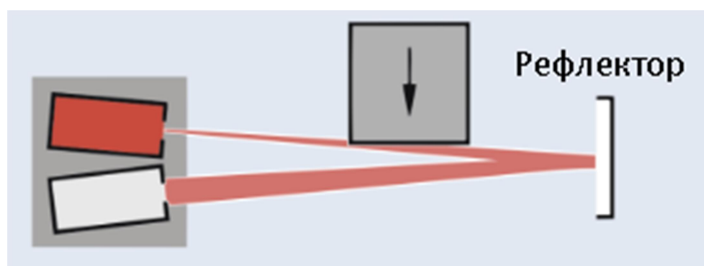


Рис. 1.8 Фотоелектричний датчик, що працює за принципом переривання відбитого від рефлектора променя [8]

3. За віддзеркаленням світла від об'єкта. У цих агрегатів приймач і супутній йому випромінювач також розташовується в одному корпусі. У цьому випадку робота будується так, що рефлектор не потрібен, оскільки його роль виконують

					ДП.ДЕ62.006.000 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

різні об'єкти - промінь відбивається від них, потрапляє в приймач, і датчик посилає потрібний сигнал (Рис. 1.9).

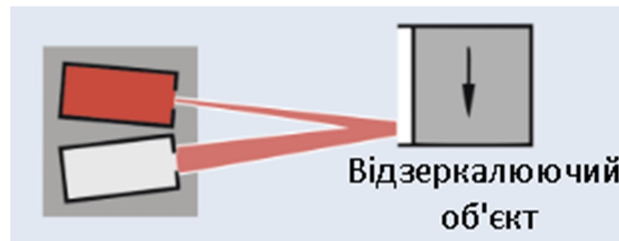


Рис. 1.9 Фотоелектричний датчик, що працює за принципом віддзеркалення променя від об'єкта [8]

4. За фіксованим відображенням. Це вдосконалений варіант попередніх видів. Прилади працюють за таким же принципом, але вони більш чутливо вловлюють і визначають стан об'єкта (Рис. 1.10).

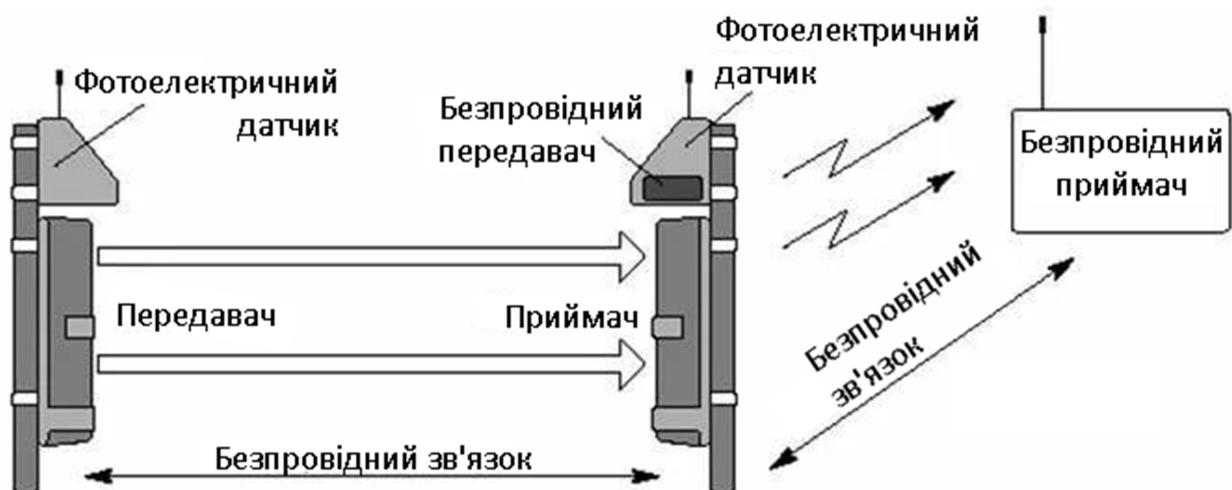


Рис. 1.10 Схема установки та роботи фотоелектричного датчика [9]

Відомий приклад використання такого датчика – в турнікетах метрополітену, які закриваються перед пасажиром при перетині ними світлового пучка без оплати проїзду (Рис. 1.11) [4].

Переваги фотоелектричних датчиків руху:

- мають підвищену стійкість до електричних перешкод;
- дозволяють впевнено визначати прозорі об'єкти (скло);
- мають просту конструкцію та простий принцип роботи;
- у порівнянні з іншими датчиками мають невисоку ціну.

Недоліки фотоелектричних датчиків руху:

- чутливість до вібрацій та ударів;
- погана робота в запиленому, загазованому і вологому середовищі;
- можливі перешкоди та помилкові спрацьовування від освітлювальних приладів загального освітлення.



Рис. 1.11 Фотоелектричний датчик руху [1]

## 1.2. Датчики присутності

Датчик присутності являє собою більш чутливу версію датчика руху. В основі обох датчиків лежать одні й ті ж принципи. Однак, наприклад, якщо в інфрачервоному датчику руху використовуються кілька десятків пар лінз, які таким чином ділять навколишній простір на кілька десятків зон спостереження, то в датчику присутності застосовуються кілька сотень пар лінз. Таким чином, кожна пара лінз оглядає невелику ділянку простору, що дозволяє їй фіксувати навіть невеликі рухи, аж до руху пальців по клавіатурі [10].

Датчики присутності за фізичними явищами поділяють на:

- ультразвукові;
- фотоелектричні;
- ємнісні;
- акустичні;
- інфрачервоні;

					ДП.ДЕ62.006.000 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- датчики навантаження.

### 1.2.1. Ультразвуковий датчик присутності

Ультразвукові датчики присутності випускають і приймають хвилі, які не сприймаються людським вухом (аналогічно ультразвуковим датчикам руху) (Рис. 1.12).

Можливі два режими роботи.

1. Бар'єрний: між датчиками, розташованими один навпроти одного, проходить ультразвукова хвиля. Вона не потрапить в приймач, якщо в зоні дії з'явиться сторонній предмет (бар'єр).

2. Дифузійний: з використанням датчика, який випускає хвилю, а потім вловлює її, відображену від об'єкта, який опинився на шляху променя.

В обох випадках при появі стороннього предмета комутується сигнал, що передається на виконуючі пристрої [11][12].

Переваги ультразвукових датчиків присутності:

- виявлення прозорих об'єктів;
- несприйнятливості до світлових спалахів і відблисків;
- працездатність в складних умовах (туман, пил, пар)

Недоліки ультразвукових датчиків присутності:

- низька дальність (верхній поріг) фіксації;
- ненадійність реєстрації об'єктів з м'яких матеріалів (тканина, пориста гума);
- наявність "сліпої зони" (нижній поріг фіксації);
- можлива негативна реакція тварин на випромінювані ультразвукові хвилі.

Приклади використання ультразвукових датчиків присутності: паркувальні системи сучасних автомобілів, підрахунок кількості одиниць готової продукції на конвеєрі.

					ДП.ДЕ62.006.000 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис. 1.12 Ультразвуковий датчик присутності [10]

### 1.2.2. Фотоелектричний датчик присутності

Фотоелектричні датчики присутності працюють за схожою з ультразвуковими схемою. Відмінність полягає в використанні оптичного випромінювання замість ультразвукового (Рис. 1.13).

Фотоелектричні датчики присутності поділяються на тип Р та Б. У типі Р приймач і випромінювач змонтовані в одному корпусі. Випущений промінь відбивається від рефлектора (катафот, відбивач), що знаходиться на відстані до 8 метрів, і повертається назад. Прилад подає сигнал, якщо світловий потік переривається об'єктом контролю.

У порівнянні з типом Б, тип Р програє в дальності дії, але його переваги – компактність і простота монтажу.

Фотоелектричні датчики використовуються для контролю за пакувальними і виробничими лініями, перевірки рівня наповнення прозорої тари, запобігання несанкціонованого доступу на закриті території, зупинки промислового обладнання при попаданні людини в небезпечні зони [9].

Переваги фотоелектричних датчиків присутності:

- високий поріг фіксації (до 150 метрів у бар'єрних датчиків);
- швидкодія;
- відсутність сліпої зони.

Недоліки фотоелектричних датчиків присутності:

- неможливість реєстрації прозорих об'єктів;

					ДП.ДЕ62.006.000 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- збої в умовах туману, пилу, при прояві світлових спалахів і відблисків.



Рис. 1.13 Фотоелектричний датчик присутності [10]

### 1.2.3. Ємнісний датчик присутності

Ємнісний датчик присутності конструктивно являє собою циліндричний або плоско паралельний конденсатор, де обкладками є чутливий елемент та земля або будь-який великий за розмірами об'єкт (земля, озеро, літак, дім тощо). У ролі чутливого елемента може бути будь-який струмопровідний об'єкт (металева пластина, дріт, частина корпусу, фольга, друкований провідник на платі тощо). У якості діелектрика виступає простір між двома обкладками, який контролюється.

При появі об'єкта в зоні дії змінюється їх діелектрична проникність, а значить і ємність, що викликає спрацювання [5].

На Рис. 1.14 показано, що спочатку ємність між тестовою пластиною і землею дорівнює  $C_1$ . При вторгненні людини в зону чутливості цієї пластини формуються два додаткових конденсатора:  $C_a$  – між пластиною і тілом, та  $C_b$  – між тілом і землею. Тому сумарна ємність між пластиною і землею збільшиться на величину  $\Delta C$ :

$$C = C_1 + \Delta C = C_1 + \frac{C_a C_b}{C_a + C_b}.$$

(Помилка! У документі

відсутній текст указанного стилю..4)

					ДП.ДЕ62.006.000 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

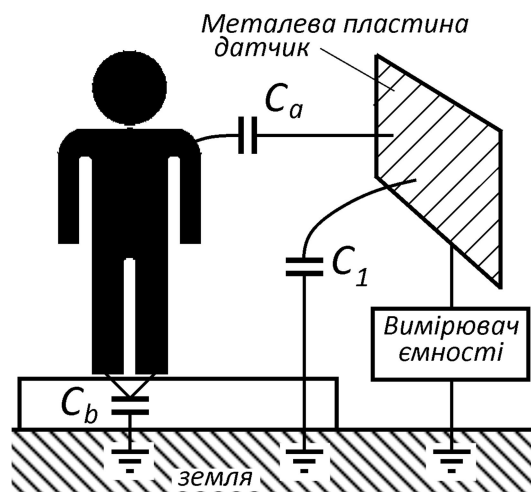


Рис. 1.14 Схема фіксування присутності людини за допомогою ємнісного датчика

Існують досить прості схеми детекторів присутності, що побудовані на основі чутливих підсилювачах, які змінюють вихідний сигнал при зміні ємності, що підключена між входом та землею. У якості підсилювач можна застосувати мікросхеми логіки, наприклад тригери, що мають великий вхідний опір (Рис. 1.15).

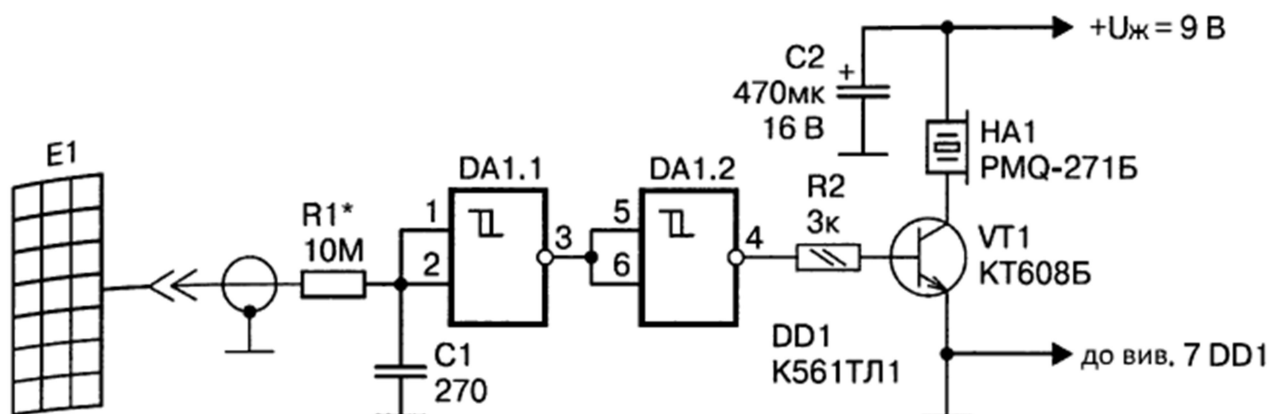


Рис. 1.15 Схема детектора присутності, побудованого з використанням ємнісного датчика та тригера Шмітта [13]

Однак такі схеми зазвичай мають невелику чутливість та дуже вразливі до зовнішніх електромагнітних перешкод. Тому у ролі вимірювача ємності частіше всього використовуються височастотні схеми, що являють собою генератор електричних коливань, частота якого залежить від ємності датчика.

Загальна схема вимірювання ємності датчика показана на Рис. 1.16. Частота генератора змінюється під дією датчика, а його вихідний сигнал подається на вхід

вимірювального приладу через кабель, довжина якого у загальному ролі не грає. Тут сигнал підсилюється, обмежується і випрямляється, тому на виході він має характеристики, які дозволяють його без подальшого підсилення підводити безпосередньо на пластини осцилографа чи іншого вимірювального приладу. При цьому відпадає потреба підсилення по постійному струму, котре ускладнює схеми та погіршує стабільність. Частота несучої у подібних схемах зазвичай лежить від сотень кілогерц до десятків мегагерц.

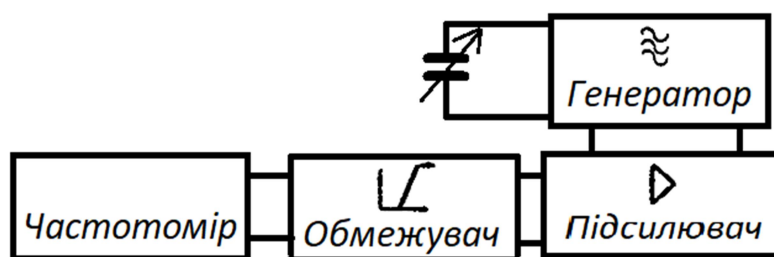


Рис. 1.16 Структурна схема системи вимірювання ємності

Підключення датчика до вимірювача може бути безпосереднім або через кабель. У випадку використання кабелю варто звернути увагу на те, що він теж має свою ємність, яка негативно впливає на чутливість системи. Ця ємність називається погонною. Погонна ємність визначається за формулою

$$C' = \frac{2\pi\epsilon_d}{\ln\left(\frac{b}{a}\right)},$$

(Помилка! У документі відсутній текст  
указаного стилю..6)

де  $C'$  – погонна ємність [Ф/м],  $\epsilon_d$  – діелектрична проникність діелектрика, що знаходиться між двома провідниками [Ф/м],  $a$  – радіус центральної жили [м],  $b$  – радіус зовнішньої жили [м].

Відповідно, щоб знайти сумарну ємність кабелю у фарадах, потрібно помножити його погонну ємність на довжину  $l$  у метрах.

Використання коаксіальних кабелів дозволяє зменшити вплив на сигнал зовнішніх факторів таких як наводки, паразитні ємності тощо. Такий тип

					ДП.ДЕ62.006.000 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



провідників має низьку погонну ємність (близько 50 пФ/м), що менше впливає на чутливість датчика до малих ємностей [14].

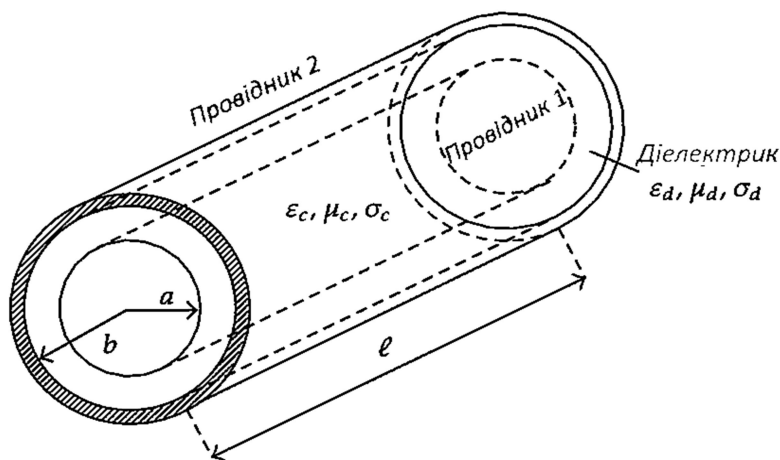


Рис. 1.17 Відрізок коаксіального кабелю [14]

Прилад застосовується для контролю за заповненням резервуарів рідинами і сипучими матеріалами, як лічильники одиниць готової продукції, та як елемент систем запобігання викраденню автомобілів (Рис. 1.18) [10].

Переваги ємнісних датчиків присутності:

- низька інерційність;
- високий поріг чутливості;
- проста конструкція;
- відсутність випромінювання;
- мала товщина чутливого елемента, що дає можливість заховати його під килим, лінолеум тощо.

Недоліки ємнісних датчиків присутності:

- ймовірність збоїв в роботі під впливом зовнішнього електромагнітного поля;
- відсутність направленості дії, як наслідок можливе хибне спрацювання при фіксуванні об'єктів, що знаходяться поза контрольованим простором поблизу чутливого елемента;

					ДП.ДЕ62.006.000 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- мала дальність спрацювання.

EC Buying



TTP223B  
TTP223

Рис. 1.18 Ємнісний датчик присутності [10]

#### 1.2.4. Акустичний датчик присутності

В акустичних датчиках присутності за допомогою п'єзоелектричних матеріалів відбувається перетворення звукової хвилі в електричний сигнал (Рис. 1.19).

Являють собою мікрофони, що працюють в діапазоні частот 20-20000 Гц:

- низькоомні (котушки індуктивності з рухомими магнітами);
- високоомні (еквівалентні змінні конденсатори).

Використовуються як звукові датчики світла, що працюють спільно з реле часу і економлять електроенергію. При перевищенні порога шуму в кімнаті відбувається автоматичне ввімкнення світла. Якщо настає тиша, через 20-25 секунд лампи вимикаються [10].

Переваги акустичних датчиків присутності:

- простота конструкції;
- надійність.

Недоліки акустичних датчиків присутності:

- необхідність використання підсилювачів;

					ДП.ДЕ62.006.000 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- ймовірність помилкових спрацьовувань в результаті зовнішніх і внутрішніх шумів (різкі звуки з вулиці, включення радіо, телефонні дзвінки).



Рис. 1.19 Високоомний акустичний датчик присутності [10]

### 1.2.5. Інфрачервоний датчик присутності

Принцип дії інфрачервоних датчиків присутності заснований на фіксації змін потоку інфрачервоних променів в результаті переміщень людини. Його перебування розпізнається по більшій інтенсивності (в порівнянні з предметами інтер'єру) випромінювання, яке безпосередньо залежить від температури тіла (Рис. 1.20).

Основні деталі датчика – фотоелементи і мультилінза, що складається з великого числа сегментів – маленьких лінз. Кожна з них направляє потрапляючі в неї промені на фотоелемент [10][8].

Рухаючись, людина виявляється в зонах контролю різних сегментів. Світло на фотоелементі то зникає, то з'являється, генеруючи електричний сигнал.

У строгому розумінні за принципом дії такий пристрій – датчик руху, а не присутності. До останньої категорії відносять особливо точні прилади з великим числом ділянок контролю. Вони здатні вловлювати наявність людини, що знаходиться в стані майже повного спокою. Фіксуються дрібні жести: похитування головою, натискання пальцями клавіатури і т.п.

Радіус виявлення – основна характеристика пристрою. Його монтаж повинен проводитися так, щоб відстань до найдаальших кутків кімнати не перевищувало цю величину. У приміщеннях великої площі потрібна установка декількох датчиків.

Необхідно, щоб на шляху інфрачервоного променя не було перегородок, навіть скляних, які для нього непрозорі.

Неприпустимо попадання на прилад прямого світла ламп, він повинен знаходитися на максимальній відстані від вентиляторів, кондиціонерів та обігрівачів.

Інфрачервоні датчики використовують як засоби охоронної сигналізації, в якості додаткового обладнання для відеоспостереження і для автоматизації електропостачання, що приводить до економії коштів [10].

Переваги інфрачервоних датчиків присутності:

- точність регулювання;
- повна безпека для здоров'я через відсутність будь-яких видів випромінювання;
- реакція тільки на об'єкти, температура яких перевищує порогову.

Недоліки інфрачервоних датчиків присутності:

- неточність функціонування на відкритих просторах (вплив опадів, сонячного світла);
- ймовірність помилкових включень під впливом теплих потоків повітря;
- перешкоди від об'єктів, що не пропускають інфрачервоне випромінювання;
- низький діапазон робочих температур.

					ДП.ДЕ62.006.000 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис. 1.20 Інфрачервоний датчик присутності [10]

### 1.2.6. Датчик навантаження

Це конвертери, що перетворюють механічне зусилля в електричний струм (Рис. 1.21).

Конструктивно датчик являє собою тензорезистор у вигляді тонкого дроту, зигзагоподібного, закріплений на еластичній підкладці. Як пружний елемент використовується тканина, гума, полімерна плівка.

Під дією сили провідник деформується, опір його змінюється, що генерує електричний сигнал, що подається після посилення на виконавчі пристрої.

Датчики навантаження використовуються як датчики присутності пасажирів з метою забезпечення безпеки (індикація пристебнутого ремня і дані для спрацьовування подушок безпеки) та для контролю за роботою таксі (фіксування стану машини – «вільний» або «зайнятий»).

Також вони використовуються як елементи стаціонарних і бездротових систем відеоспостереження та безпеки, що сигналізують про несанкціонований доступ у приміщення [10].

Переваги датчиків навантаження:

- мала товщина, що забезпечує приховану установку (маскування під килимок біля дверей);
- легкість монтажу на пасажирські сидіння.

Недоліки датчиків навантаження:

					ДП.ДЕ62.006.000 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- необхідність використання підсилювача сигналу;
- багаторазові механічні навантаження призводять до поступового виходу з ладу;
- зниження чутливості при перепадах температур.



Рис. 1.21 Датчик присутності за наявністю навантаження [10]

### 1.3. Запобіжні заходи

При установці датчиків на свої місця, де вони у подальшому будуть виконувати свою роль, варто знати про правила їх застосування, що стосуються особливостей роботи конкретних сенсорів.

1. Радіохвильові датчики не рекомендується встановлювати на близькому відстані один від одного, навіть якщо між ними є якась перешкода. Крім того, в поле їх спостереження не повинні потрапляти вікна і двері, якщо датчик руху не розрахований на відстеження переміщень за ними.

2. Інфрачервоні датчики не рекомендується встановлювати поблизу кондиціонерів, опалювальних радіаторів та інших приладів, що виробляють тепло.

3. Ультразвукові датчики не можна використовувати в будинку, якщо є домашні тварини.

4. До датчиків не допускається підключати пристрої з сумарною споживаною потужністю вище, ніж вказано в таблиці допустимих значень, що додається в інструкції.

					ДП.ДЕ62.006.000 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5. Переріз використовуваних проводів повинен відповідати комутованим навантаженням і бути не менше  $1 \text{ мм}^2$  [1][10].

#### 1.4. Загальні схеми підключення датчиків

Існує дві загальні схеми підключення датчиків: у розрив живлення навантаження (Рис. 1.22 а) та з використанням зовнішньої системи керування (Рис. 1.22 б).

Підключення у розрив мережевого живлення навантаження. Такі датчики живляться від мережевої напруги та мають зазвичай три вивода: фаза(1), нуль(2) та вихід на навантаження(3). Пристрій вмикає підключене до нього навантаження за схожим принципом, який має звичайний вимикач: при спрацюванні датчика контакти «фаза» та «вихід на навантаження» замикаються комутатором, котрий інтегрований у сам датчик. Тобто навантаженням керує датчик напряму, подаючи на нього мережеву напругу. У якості приладів навантаження часто використовуються лампи освітлювання, сигналізація тощо [15].

Підключення до зовнішньої системи керування. Такі датчики мають не менше трьох виводів. Основні з яких це: живлення(1), земля(2) та сигнальний вивід(3). Живлення у такому випадку використовується з використанням блоків живлення, які видають постійну та стабілізовану напругу, що часто складає від 3,3 В до 12 В, в залежності від вимог датчика. Пристрій працює у парі із системою керування, яка приймає сигнали з датчика, обробляє їх та, в залежності від налаштувань, керує навантаженням напряму, або через спеціальний драйвер. Датчик при спрацюванні подає через сигнальний вивід сигнал, що складається з логічних рівнів: «нуль» (вимкнено) та «одиниця» (увімкнено). Іноді зустрічаються виводи, які видають не цифрові, а аналогові сигнали. У такому випадку система керування повинна мати модуль аналого-цифрового перетворювача (АЦП), який буде оцифровувати аналогові дані з датчика. При цьому система керування матиме можливість краще реагувати на зміни у середовищі, оскільки у такий спосіб передачі даних вона отримує більше інформації, ніж у випадку, коли на її вхід приходять повідомлення про спрацювання або неспрацювання. Також

					ДП.ДЕ62.006.000 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

існують датчики вже з інтегрованим АЦП, які видають ті ж сигнали з повідомленнями про спрацювання (логічний «нуль» або «одиниця»), або видають оцифровані дані із застосуванням спеціальних цифрових протоколів передачі даних.

Такі датчики часто виконуються у вигляді модулів, з якими легко можна працювати, зібравши, наприклад, систему на макетній платі і використовуючи у якості системи керування плату відлагодження (наприклад «Arduino») [15][16].

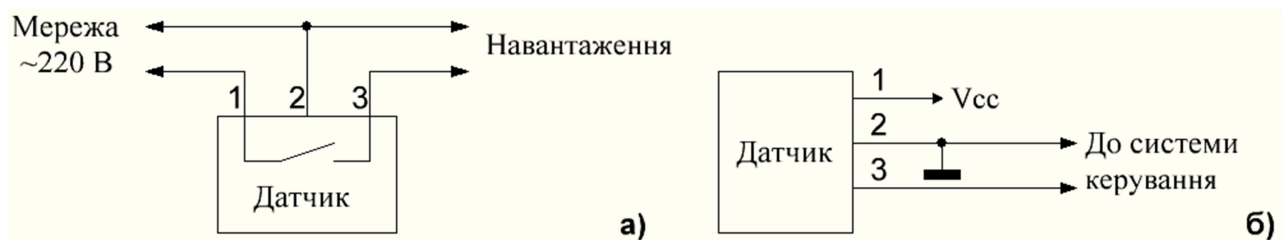


Рис. 1.22 Загальні схеми підключення датчика: а) у розрив мережі живлення 220 В; б) з використанням зовнішньої системи керування

## 1.5. Система керування

Система керування – це модуль, який приймає сигнал із датчиків, перетворює, обробляє його і керує іншими зовнішніми пристроями, які необхідно контролювати в залежності від сигналів з датчиків, які слідкують за тими чи іншими процесами у контрольованому середовищі. Система повинна дозволяти користувачеві налаштовувати параметри, що визначають її поведінку. До таких параметрів часто відноситься поріг спрацювання, при проходженні якого відбувається керування навантаженням (увімкнення або вимкнення). Додатково система керування може надавати користувачеві інформацію про стан, яка виводиться на екран або на відповідні індикатори.

Датчики можуть мати вже інтегровану систему керування. У такому випадку вони видають сигнали команд на увімкнення або вимкнення відповідними логічними рівнями або комутують живлення навантаження (див. 351.4) [15].

Датчики, що не мають системи керування, часто представляють собою чутливий елемент з можливою схемою перетворення сигналів (підсилювач,

					ДП.ДЕ62.006.000 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



генератор тощо). Для таких датчиків застосовується зовнішня система керування [15][16].

Головним компонентом цієї системи є попередньо запрограмований мікроконтролер. Завданнями цього елементу є кінцева обробка сигналів, що надходять з датчиків, аналіз інформації, що надходить з навколишнього середовища, керування елементами відображення стану усієї системи (дисплей, індикатори тощо) та керування приладами навантаження через спеціальний драйвер, який перетворює інформаційний сигнал в енергетичний. При виборі даного компонента у процесі розробки системи керування потрібна наявність наступних вимог до мікроконтролера:

- діапазон дозволених напруг живлення повинен відповідати напрузі блока живлення;
- кількість виводів мікросхеми повинна дозволяти підключити до мікроконтролера усі необхідні модулі;
- мікроконтролер повинен мати можливість перетворювати вхідний сигнал з датчика, якщо це необхідно (наприклад, обов'язкова наявність модуля АЦП при надходженні аналогового сигналу);
- швидкодія мікроконтролера повинна бути такою, щоб система встигала вчасно та коректно приймати, опрацьовувати, відображати інформацію та керувати зовнішніми пристроями навантаження.

Вся необхідна технічна інформація про мікроконтролер знаходиться у даташиті на конкретну модель компонента – документі компанії-виробника того чи іншого компонента, системи або матеріалу, у якому зазначено технічні характеристики продукту.

На практиці системи керування можуть як складатися лише з одного мікроконтролера та додаткової обв'язки для забезпечення його функціонування, так і мати вигляд автоматизованого вимірювального комплексу (Рис. 1.23), у складі якого можуть бути від одного (наприклад, домашній термостат) до тисячі (наприклад, космічний корабель) датчиків; приводи у вигляді моторів або соленоїдів, що безпосередньо впливають на об'єкт (повертають, переміщують

					ДП.ДЕ62.006.000 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

тощо); та комп'ютер, який може бути виконаний у вигляді тієї ж мікроконтролерної або більш складної системи, що поєднує цілий ряд пристроїв конкретного призначення. Сигнали з усіх датчиків поступають на мультиплексор, проходять обробку в аналогово-цифровому перетворювачі (АЦП) та надходять на комп'ютер для подальшого аналізу [5].

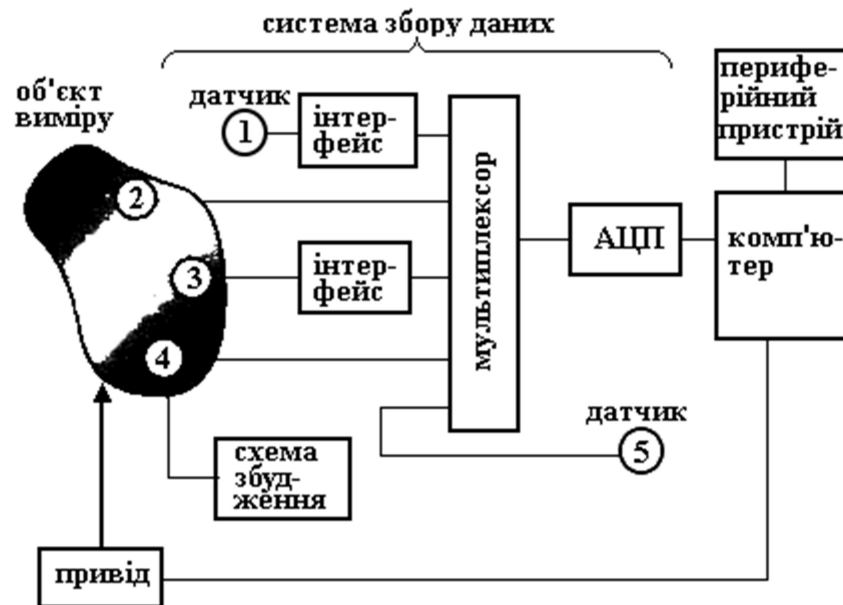


Рис. 1.23 Автоматизований вимірювальний комплекс, що показує роль датчиків у системі збору даних: датчик 1 – безконтактний; датчик 2 і 3 – пасивні; датчик 4 – активний; датчик 5 – внутрішній елемент системи збору даних [5].

## 1.6. Вимірювальна схема ємнісного датчика

Ємнісний датчик у даній системі виконує роль детектора присутності. Конструктивно цей елемент являє собою чутливий елемент, що виконаний у вигляді металевої пластини або покриття зі струмопровідного матеріалу (фольга), що розташоване на підлозі під шаром діелектрика. У якості діелектрика можуть бути звичні будматеріали, якими застеляють підлогу, наприклад ковролін, лінолеум та інші. В результаті одночасно забезпечується мінімальна відстань від чутливого елемента до об'єкта (людини), що знаходиться на відстані, рівній товщині діелектричного покриття підлоги; та електрична ізоляція об'єкта від усієї системи, яка запобігає виникненню збою в роботі датчика при безпосередньому контакті тіла людини та чутливого елемента.

У якості вимірювача ємності використовується високочастотний (ВЧ) генератор. На Рис. 1.24 показано ВЧ генератор, що побудований за схемою ємнісної трьохточки (генератор Клаппа).

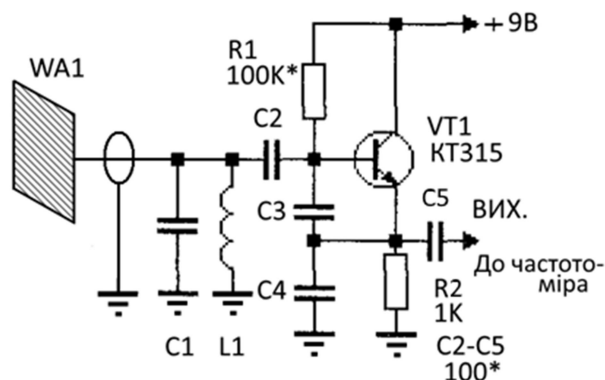


Рис. 1.24 Схема високочастотного генератора з підключеним датчиком  $WA_1$  [17]

На схемі видно елементи  $C_1$  і  $L_1$  – це паралельний коливальний контур. Елементи  $C_1 - C_4$  підключені послідовно-паралельно до LC-контуру, тому вони теж впливають на його ємність.

До точки з'єднання контуру та базового конденсатора  $C_2$  під'єднано ємнісний датчик  $WA_1$ , який утворює ємність, що підключена паралельно конденсатору  $C_1$  та індуктивності  $L_1$ . Транзистор у цій схемі підійде будь-який малопотужний високочастотний з оберненою провідністю (наприклад KT315 або зарубіжний аналог – S9018).  $C_1$  та  $L_1$  підбираються в залежності від потрібної номінальної частоти генератора при підключеному датчику. Ємність  $C_1$  повинна бути не більше номінальної ємності датчика (при відсутності об'єкта у контрольованому середовищі), інакше чутливість пристрою буде зниженою. Зазвичай ця ємність лежить в діапазоні від 10 до 100 пФ.

Частота даного генератора залежить від номіналів  $L_1$  та  $C_1 - C_4$ . Загальна формула, що виражає частоту виглядає наступним чином:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}, \quad (2.1)$$

де  $L$  – індуктивність контуру, що дорівнює номіналу  $L_1$ ;  $C$  – ємність контуру, яка дорівнює послідовно-паралельному з'єднанню конденсаторів  $C_1 - C_4$ . Ємність контуру виражається формулою

$$C = \frac{1}{\frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \frac{1}{C_4}} + C_1. \quad (2.2)$$

Підставивши формулу (2.2) у (2.1) отримаємо вираз, за яким можна знайти власну частоту генератора, підставивши номінали компонентів [18]:

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_1 \left[ \frac{1}{\frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \frac{1}{C_4}} + C_1 \right]}} \quad (2.3)$$

Генератор починає працювати одразу після подачі живлення. Без датчика частота буде дорівнювати його власній, яка визначається з формули (2.3). При підключенні датчика ємність контуру збільшиться за рахунок ємності датчика, яка підключена паралельно конденсатору  $C_1$ , тобто їхні ємності сумуються. Як наслідок частота генератора дещо зменшиться. Варто виділити 3 основні частоти:

- власна – частота без підключеного датчика, яка визначається лише елементами  $L_1$  та  $C_1 - C_4$ ;
- номінальна – частота при підключеному датчику при відсутності об'єкта впливу (людини) в контрольованому середовищі;
- порогова – частота, при якій виникає спрацювання, яка задається користувачем при калібруванні пристрою.

Оскільки тіло людини має високу діелектричну проникність (при частоті 40 МГц діелектрична константа шкіри, м'язів та крові складає близько 97, а кісток і жиру – приблизно 15), то між нею та навколишнім середовищем виникають різні ємнісні зв'язки. Величина таких ємностей, що з'являються, зазвичай лежить в діапазоні від декількох пікофарад до декількох нанофарад (Рис. 1.14). Тому для

					ДП.ДЕ62.006.000 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

фіксування таких малих ємностей потрібні дуже чутливі схеми. Застосування ВЧ схем у якості вимірювачів ємності дозволяє проводити такі спостереження. Ємність датчика при цьому залежить від розмірів чутливого елемента (номінальна ємність) та розмірів об'єктів й діелектричної проникності матеріалів, з яких вони складаються.

З'єднання чутливого елемента варто виконувати безпосереднім до генератора або через спеціальні кабелі якомога коротшої довжини. У даному випадку велику роль грає погонна ємність кабелю, яка знаходиться з формулою (1.6), яка зростає при збільшенні довжини проводу, при його скручуванні та наявності поблизу металевих об'єктів. Найменшу погонну ємність мають коаксіальні двохжильні кабелі, значення якої в залежності від виробника складає близько 50 пФ/м [14]. Ємність кабелю знаходиться за наступною формулою:

$$C = C' \cdot l, \quad (2.4)$$

де  $C'$  – погонна ємність,  $l$  – довжина.

Ємність кабелю впливає на чутливість системи до малих за розмірами об'єктів впливу: чим вона менша, тим чутливість більша, тобто роздільна здатність краща. Така ж закономірність стосується і номінальної ємності датчика, яка прямо пропорційно залежить від розмірів чутливого елемента. При великих розмірах зростає дальність дії датчика, але падає роздільна здатність.

Генератор на виході видає частотно-модульований сигнал, який можна передавати безпосередньо на систему керування або через провід, довжина якого не сильно впливає на якість передачі інформації завдяки даному типу модуляції, а отже впливом її можна знехтувати [19].

## 1.7. Система фотоелектричних датчиків

Фотоелектричні датчики являють собою набір з шести модулів: три передавача, та три приймача. Передавач за допомогою лазера генерує постійне світлове, найчастіше ІЧ випромінювання, що поступає на чутливий елемент –

					ДП.ДЕ62.006.000 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

фотодіод або фоторезистор. При перериванні променя у випадку проходження об'єкта між передавачем та приймачем відбувається спрацювання датчика [20].

У системі автоматизації енергоспоживання ці датчики виконують функцію контролю за напрямом проходження об'єктів, що дає можливість підраховувати кількість людей, що зайшли, вийшли та знаходяться на даний момент у контрольованому приміщенні, якщо розмістити дані елементи у дверному проході. Кожен передавач та приймач повинен знаходитися напроти один одного для того, щоб промені з лазерів попадали на фоточутливі елементи. Кожна така прийомо-передавальна пара повинна бути розміщена в ряд по горизонталі з відстанню між кожною парою, при якій у випадку проходження об'єкта буде затінено від одного до двох датчиків. При проходженні людини повз світлові промені вони поступово перериваються. Це фіксують приймачі та система керування може визначити напрямок, за яким рухається людина. Подібна схема контролю широко застосовується на турнікетах у метрополітені [21].

Завданням фотоелектричних датчиків є визначення кількості людей, що знаходяться у приміщенні. Також вони працюють спільно з ємнісним датчиком. Якщо фіксується зростання ємності датчика та виникають переривання світлових променів фотоелектричних датчиків у напрямку до приміщення, то система однозначно фіксує присутність першої людини та заносить у лічильник кількості число «1». Якщо датчики реєструють активність у середовищі, яка порушує ці умови (різні датчики фіксують протилежні по присутності покази), то система реєструє помилку і в такому разі вона виводить на блок індикації сигнал помилки або коректує наявну інформацію, наприклад число людей у приміщенні.

### 1.8. Датчик освітлення

Даний датчик являє собою фоторезистор, що реєструє рівень зовнішнього освітлення в реальному часі. Він потрібен для коректного спрацювання системи керування, яка вмикає освітлювальні прилади лише при низькому рівні природнього освітлення (з вікон тощо).

					ДП.ДЕ62.006.000 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Опір даного елемента залежить від кількості світла, що падає на його чутливу область (Рис. 1.25).

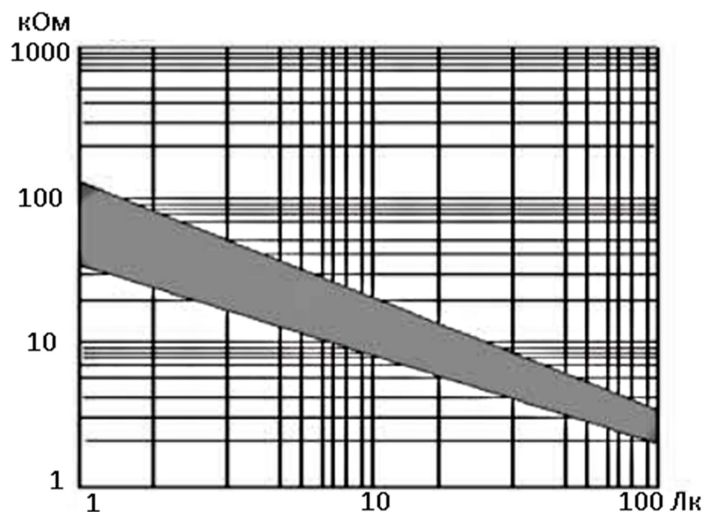


Рис. 1.25 Опір фоторезистора GL5528 в залежності від освітлення [22]

Даний датчик має просту схему підключення, що являє собою резисторний дільник напруги, де фоторезистор відіграє роль одного з пліч подільника (Рис. 1.26).

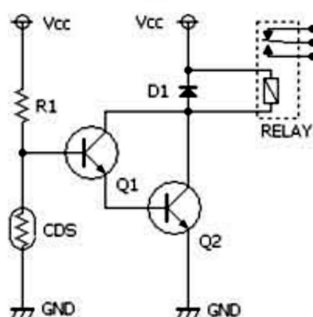


Рис. 1.26 Схема підключення фоторезистора із застосуванням транзисторного підсилювача та реле [22]

Рівень, при якому виникає спрацювання, називається пороговим рівнем освітлення. Він задається користувачем при калібрації датчика. Система керування вмикатиме освітлювальні прилади лише при умові, що рівень освітленості у приміщенні є нижчим ніж пороговий, а вмикатиме лише при перевищенні порогу.

					ДП.ДЕ62.006.000 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для коректної роботи системи датчик освітлення варто встановлювати у місці, де на нього буде потрапляти лише світло з вікна та інших джерел, окрім приладів освітлення, якими керує система.

### 1.9. Обробка сигналів датчиків та керування освітленням

Пристрій, який виконує операції прийому сигналів з датчиків та аналізу інформації, що надходить з них, називається системою керування (СК). СК має три входи для датчиків, один вихід для підключення навантаження та два входи для живлення (12 В та 220 В). Пристрій реєструє активність на усіх підключених датчиках (ємнісний, фотоелектричний та освітлення), аналізує інформацію та керує зовнішніми освітлювальними приладами.

Система побудована на мікроконтролері (МК) Atmega328. Даний МК має наступні важливі характеристики:

- 32 Кб внутрішньої програмної флеш-пам'яті;
- 2 Кб внутрішньої оперативної пам'яті;
- 1 Кб енергонезалежної внутрішньої пам'яті;
- два 8-бітні таймери-лічильники ;
- один 16-бітний таймер-лічильник;
- 8-канальний 10-бітний АЦП;
- 23 програмовані лінії вводу-виводу ;
- робоча напруга від 2,7 В до 5,5 В;
- продуктивність дорівнює 16 мільйонам операцій за секунду при частоті 16 МГц [23].

Аналізуючи характеристики вище можна визначити чи підходить даний МК для виконання усіх необхідних дій, що закладені у систему керування.

Напруга живлення схеми складає 5 В, що є допустимим значенням для нормального функціонування МК та його взаємодії з іншими елементами схеми.

					ДП.ДЕ62.006.000 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Об'єми програмної та оперативної пам'яті достатні, оскільки робота системи не вимагає обробки великих масивів даних, та алгоритм роботи не є надто складним, що говорить про невеликий об'єм програмного коду. Тому продуктивність мікропроцесора є теж достатньою.

На Рис. 1.27 показано розпіновку даного МК, яка показує функції, що можуть виконуватися конкретним виводом мікросхеми. При написанні програмного коду кожен вивід, який буде використовуватися, отримує свою функцію з можливих перекислених.

МК має 23 програмованих ліній вводу-виводу, що розташовані на трьох різних портах. Лінії вводу-виводу – це виводи мікросхеми, якими мікропроцесор прямими командами може керувати за допомогою портів, виставляючи на них логічні сигнали «0» та «1», або зчитуючи з них ці сигнали. На розпіновці (Рис. 1.27) виводи ліній позначаються як PB0, де В – літер порту (В, С, D), 0 – номер лінії (0 – 7). Сумарна кількість таких ліній вказує на можливість підключення різної периферії, що займає певну кількість виводів мікросхеми і може взаємодіяти з мікропроцесором. До такої периферії можна віднести дисплей, світлодіодні індикатори, кнопки, транзисторні ключі та датчики. Кількість ліній, що доступні на даному МК, є достатньою для підключення переліченої периферії.

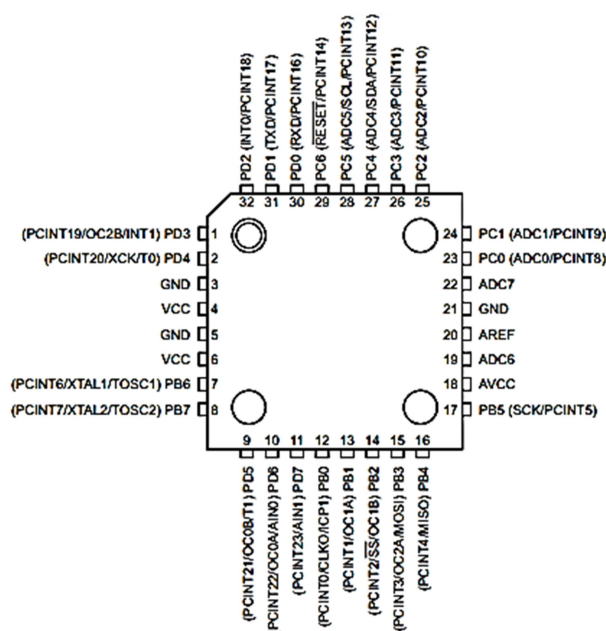


Рис. 1.27 Розпіновка мікроконтролера Atmega328 у корпусі LQFP32 (Low-profile Quad Flat Package)

					ДП.ДЕ62.006.000 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Фотоелектричні датчики працюють видаючи на виході логічні «0» та «1» при зникненні (перетині) та проходженні світлового променя відповідно. Їхні стани у такому випадку достатньо зчитувати лініями портів МК, налаштованими на вхід, оскільки зміни сигналів на цих датчиках відбуваються не інтенсивно, тому мікропроцесор встигатиме їх обробляти вчасно.

Важлива також наявність інтегрованих у МК модулів АЦП та таймерів. АЦП дає можливість зчитувати аналоговий сигнал, що поступає з датчика освітлення, перетворюючи його у цифровий код для подальшого аналізу інформації. Виводи МК, що стосуються АЦП на розпіновці (Рис. 1.27) позначаються як ADC0, де 0 – номер каналу (0 – 7).

Ємнісний датчик має систему вимірювання, що являє собою генератор. Отже, щоб міряти ємність датчика потрібно вимірювати частоту генератора. Оскільки це значення є досить великим і може становити від сотень кілогерц до одиниць (в деяких випадках і десятків) мегагерц, то вимірювати таку кількість імпульсів за секунду сам мікропроцесор не може, паралельно виконуючи закладений в його пам'ять програмний код. Для вирішення цієї проблеми існують таймери 8 та 16 біт.

Таймер – це модуль, завдання якого рахувати імпульси (режим лічильника, у даній схемі) та порівнювати їх нараховану кількість з заданим числом (режим порівнювання), які можуть приходити як з внутрішнього джерела (внутрішній тактовий генератор), так і з зовнішнього (периферія, що підключена до виводу мікросхеми, який відповідає за зчитування імпульсів таймером). Кількість імпульсів, незалежно від мікропроцесора записується у спеціальний регістр самим таймером, що значно розвантажує роботу мікропроцесора.

Розрядність таймера говорить про величину регістра, куди записується значення лічильника, який рахує кількість імпульсів. 8 бітний таймер може нарахувати без переповнення 256 імпульсів, а 16 бітний – 65336. Число, яке знаходиться в регістрі лічильника, може в будь-який момент зчитуватися мікропроцесором, поки регістр не переповнився. У такому випадку число анулюється і дані будуть невірними. Отже, чим більша розрядність, тим рідше

					ДП.ДЕ62.006.000 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

мікропроцесору потрібно звертатись до регістра і відвантажувати з нього нараховане число імпульсів, анулюючи його після цього.

Для правильного перетворення кількості імпульсів у значення частоти регістр повинен зчитуватися у строго рівні проміжки часу. Таку роботу може забезпечити інший таймер, який буде переривати виконання основної програми на зчитування регістра лічильника .

В кінцевому вигляді, система із двох таймерів виконують функцію частотоміра, що дозволяє МК вимірювати частоту генератора, а отже і ємність датчика. Виводи мікросхеми, що відповідають за входи лічильників таймерів, позначаються як T0, де 0 – номер таймера (0, 1). Вихід генератора ємнісного датчика підключається до входу таймера T1 (вивід 9).

Портами вводу-виводу також, як і у фотоелектричному датчику, зчитуються сигнали з блоку керування, та відбувається керування блоком індикації і драйвером.

Окрім виводів мікросхеми, якими здійснюється зчитування та керування, є також і спеціальні виводи: Vcc та AVcc – живлення цифрової та аналогової частини МК відповідно, GND – земля, XTAL – виводи підключення кварцового резонатора [23].

### 1.10. Блок керування та блок індикації системи

Блок керування представляє собою набір кнопок, які дозволяють користувачеві керувати системою та налагоджувати її (проводити калібрування). Серед функцій, які можна виконати, натиснувши на відповідну кнопку, це:

- калібрування ємнісного та світлового датчика (встановлення порогових значень);
- скидання лічильника кількості людей у приміщенні, у разі, якщо виникла помилка при зчитуванні фотоелектричними датчиками руху через двері;

					ДП.ДЕ62.006.000 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- ручне керування освітленням, якщо потрібно примусово увімкнути або вимкнути світло в приміщенні, вимкнувши при цьому автоматичне регулювання системою.

Блок індикації містить в собі двох-розрядний семисегментний дисплей (Рис. 1.28) та набір світлових індикаторів, у якості яких використовуються світлодіоди.

На дисплеї виводиться кількість осіб у приміщенні, яку СК нарахувала у той же час, а на індикаторах відображається стан усієї системи, що може мати наступні повідомлення:

- «Активація» – спрацювання системи керування та увімкнення освітлення;
- «Помилка» – при аналізі інформації, що поступає з датчиків, виникла помилка (невірне число лічильника присутності людей у приміщенні або неправильне спрацювання датчиків), для чого потрібно виконати скидання лічильника;
- «Ручне керування» – активація режиму, при якому керування освітленням здійснюється виключно користувачем за допомогою натискання кнопки, що відповідає за примусове увімкнення або вимкнення освітлювального приладу.

					ДП.ДЕ62.006.000 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

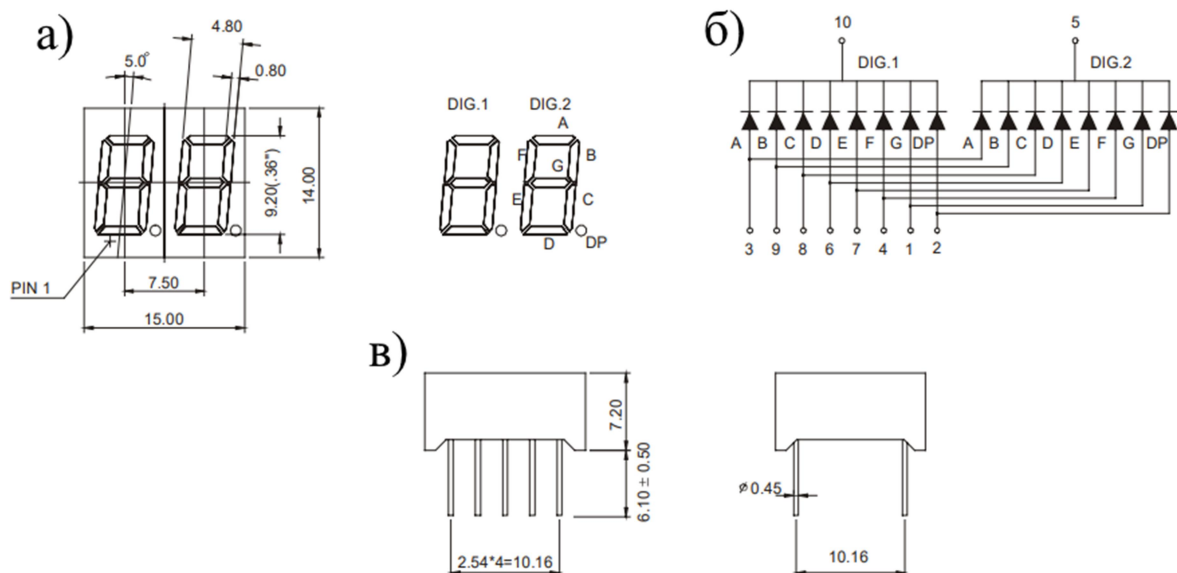


Рис. 1.28 Двох-розрядний семисегментний дисплей «MCD-3621A»: а) розміри сегментів та оглядової поверхні; б) схема дисплея зі спільним катодом та його розпіновка; в) загальні розміри елемента [24]

### 1.11. Драйвер

Драйвер – це модуль, що відповідає за перетворення інформаційного сигналу в енергетичний. Тобто основне завдання даного блоку – це приймати сигнали з боку системи керування та на основі них керувати потужними освітлювальними приладами, де присутні значні напруги та протікають значні струми, оперувати якими мікроконтролер без додаткового перетворювача не може.

Система керування подає на вхід драйвера сигнал, що відповідає за активацію приладу освітлення. Цей сигнал представляється у вигляді логічних станів «0» (вимкнено) та «1» (увімкнено). Таким чином відбувається керування силовою частиною схеми, яка в свою чергу комутує живлення освітлювального приладу без ризику виходу з ладу усієї схеми у випадку, якщо на виході драйвера сталася неполадка, що може привести до виходу зі строю одного або кілька силових елементів, які оперують підвищеними напругами.

При комутації змінної напруги доцільно використовувати симістори – елемент, який пропускає струм в обидва напрямки при прикладенні на керуючий електрод деякого струму як додатнього, так і від’ємного знаку (Рис. 1.29 Вольт-

					ДП.ДЕ62.006.000 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

амперна характеристика симістора (Рис. 1.29). Симістор можна порівняти з комутатором та, на відміну від реле, він не має внутрішніх механічних контактів, перемикається швидше та тихіше і має більш компактний корпус. Даний елемент може керувати навантаженням при змінній мережевій напрузі 220 В та струму у декілька ампер, в залежності від потужності симістора. В окремих випадках для запобігання його перегріву на нього ставлять радіатор.

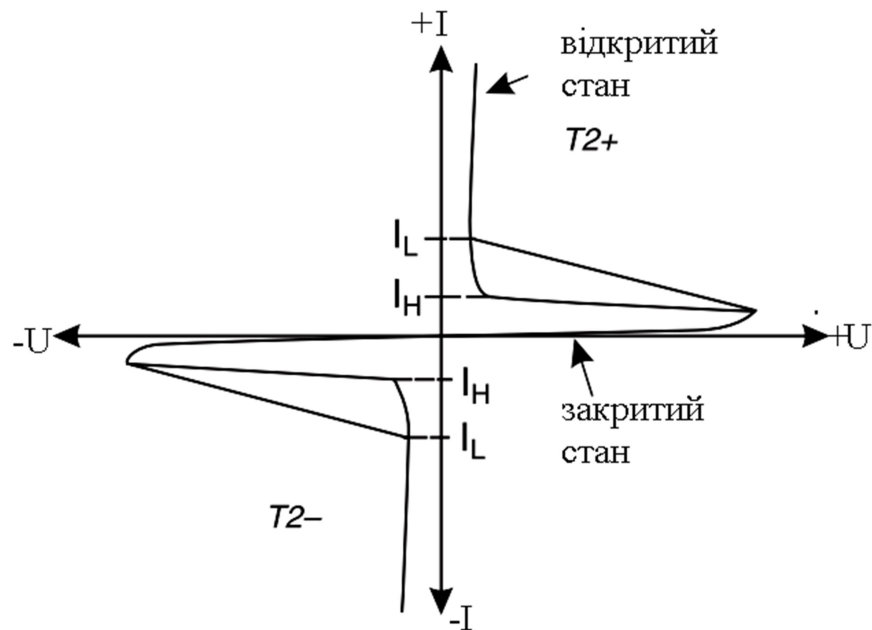


Рис. 1.29 Вольт-амперна характеристика симістора [25]

### 1.12. Блок живлення

Не менш важливим питанням при проектуванні пристрою є вибір джерела живлення. До основних завдань цього блоку входить:

- перетворення одного виду напруги в інший (зі змінної у постійну);
- зміна напруги (з 220 В до 12 В);
- стабілізація вихідної напруги.

Серед видів блоків живлення існують трансформаторні (лінійні) та імпульсні. На Рис. 1.30 показано загальну структуру лінійного блока живлення, а на Рис. 1.31 – імпульсного.



Рис. 1.30 Структура лінійного блока живлення

Переваги лінійного блока живлення:

- проста реалізація;
- використання легкодоступних елементів;
- відсутність ВЧ перешкод.

Недоліки лінійного блока живлення:

- низька ефективність;
- велика вага та габарити.

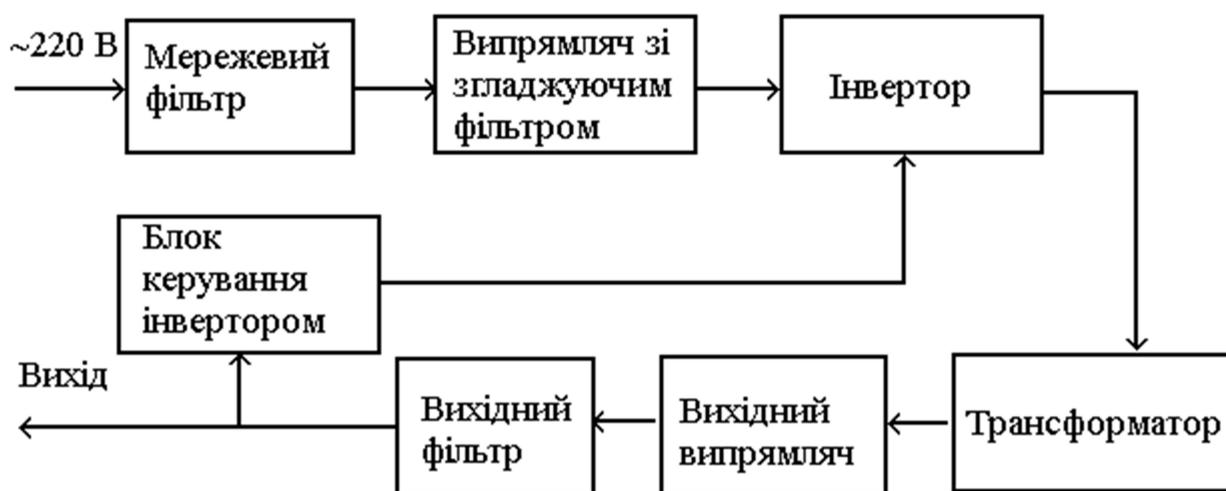


Рис. 1.31 Структура імпульсного блока живлення

Переваги імпульсного блока живлення:

- висока ефективність за рахунок подачі на трансформатор не синусоїдальної напруги з частотою 50 Гц, а прямокутної з частотою декілька десятків кілогерц;

- менші габарити та вага через високу частоту сигналу на вході трансформатора, що дає змогу при тих же потужностях використовувати трансформатори менших розмірів;
- великий діапазон вхідних напруг (часто 100 В – 250 В), оскільки інвертор підлаштовує сигнал на трансформатор так, що вихідна напруга залишається тією ж, навіть при зміні вхідної в указаному діапазоні;
- наявність схем захисту від коротких замикань.

Недоліки імпульсного блока живлення:

- складна схема, як наслідок ускладнений ремонт;
- наявність ВЧ перешкод, що у першу чергу негативно проявляється в аналогових схемах [26].

При виборі блоку живлення варто звернути увагу не лише на його вид, а й на його основні параметри: вихідна напруга та вихідний струм. Значення напруги повинно знаходитися у діапазоні, при якому прилад буде працювати коректно без перегріву компонентів, для яких указується максимально допустимі значення у документації, та без перебоїв живлення. Струм блока живлення повинен бути достатнім для безперебійного живлення приладу у моменти найбільшого споживання та братися із деяким запасом.

					ДП.ДЕ62.006.000 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



## Висновки до розділу 1

З вище перелічених датчиків, враховуючи переваги, недоліки та принципи роботи, для побудови системи автоматизації енергоспоживання обрано ємнісний датчик присутності та фотоелектричний датчик руху. Також додатково у системі буде задіяний датчик освітленості.

Фотоелектричний датчик контролюватиме переміщення об'єктів через двері та визначати кількість людей, що зайшло у кімнату. Ця інформація буде виводитися на екран. Ємнісний датчик визначатиме присутність людей у кімнаті за їх рухом для коректної роботи системи у разі хибного визначення кількості осіб у приміщенні, тобто система буде мати інформацію про наявність людей у приміщенні і коректувати їх число на екрані. Датчик освітленості слідкуватиме за рівнем освітлення у приміщенні, за допомогою чого система буде вмикати освітлювальні прилади лише у випадку, коли рівень освітленості нижче встановленого порогу, котрий задається у системі користувачем.

Отже, система автоматизації енергоспоживання повинна мати такі основні частини: ємнісний датчик, фотоелектричні датчики (три пари передавач-приймач), датчик освітлення, система керування, блок керування, блок індикації, драйвер та освітлювальний пристрій.

Ємнісний датчик має вигляд металевого покриття з фольги, що розташоване під лінолеумом або іншого діелектричного покриття. У якості пристрою вимірювання ємності використовується генератор електричних коливань, частота якого залежить від ємності датчика. Вихідний сигнал поступає на систему керування, яка у режимі частотоміра стежить за частотою, а отже і за ємністю датчика.

У якості датчика освітлення використовується фоторезистор, що знімає рівень освітлення з вулиці таким чином, щоб на нього не потрапляло світло з приміщення (з керованого освітлювального пристрою).

У ролі фотоелектричних датчиків виступають готові заводські пристрої, які встановлюються у дверному проході. Вони діляться на передавачі та приймачі. Передавач і приймач ставиться напроти один одного так, щоб світловий промінь з

					ДП.ДЕ62.006.000 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

одного елемента потрапляв на інший. Три пари датчиків розташовуються у горизонтальний ряд так, щоб при проходженні людини світлові промені переривалися один за одним.

Система керування буде створена на основі мікроконтролера Atmega328P, характеристики якого задовольняють вимоги, які ставляться до даної системи.

Блок керування містить у собі чотири кнопки, які відповідають за функції калібрування ємності та рівня освітлення, скидання кількості осіб у приміщенні й керування ручним режимом.

Блок індикації складається з двох розрядного семи сегментного дисплея, на якому відображається кількість осіб у приміщенні на даний момент, та трьох світлодіодних індикаторів, що оповіщають про повідомлення: «активація» – спрацювання датчиків та активація освітлювального пристрою, «помилка» – хибне спрацювання датчиків або невірна кількість нарахованих осіб у приміщенні, «ручне керування» – режим ручного керування освітленням за допомогою відповідних кнопок.

Схему драйвер обрано з використанням симістора, який комутує живлення освітлювального пристрою змінною напругою 220 В, приймаючи сигнали з системи керування.

					ДП.ДЕ62.006.000 ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2. РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ В ОФІСНИХ ПРИМІЩЕННЯХ

### 2.1. Засоби розробки

Програмний код системи автоматизації енергоспоживання написаний на мові C у програмному середовищі Atmel Studio 6, а робота схеми промодельована у програмі Proteus 8 Demo (безкоштовна версія). Програмування мікроконтролера проводилося за допомогою ISP програматора – USBasp, та у програмі AVRdude 3.3. За розробленою схемою виконано трасування плати у середовищі Sprint Layout 6 (безкоштовна версія). Для перевірки працездатності схеми необхідно мати мультиметр з функціями виміру напруги, струму, опору та частотомір для діагностики роботи генератора датчика ємності.

### 2.2. Розробка структурної схеми

Перед початком проєктування принципової схеми потрібно визначити з яких частин має складатися майбутній пристрій або система. Аналізуючи інформацію з джерел, що описана у першому розділі, система автоматизації енергоспоживання повинна мати такі складові: ємнісний датчик, фотоелектричний датчик, датчик освітлення, система керування, блок індикації, блок керування, драйвер та освітлювальний пристрій (Рис. 2.1).

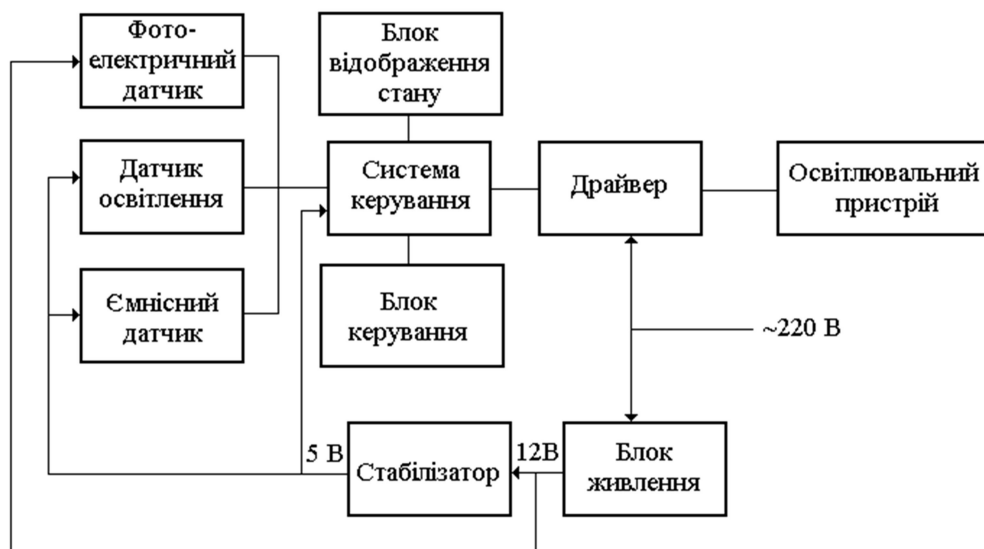


Рис. 2.1 Структурна схема системи автоматизації енергоспоживання

Фотоелектричний датчик являє собою систему з трьох фотоприймачів та трьох фотопередавачів, що розташовується у дверному проході. Він визначає напрямок руху через двері та дозволяє визначати кількість людей, що зайшли та вийшли. На Рис. 2.2 зображено схему підключення трьох фотоелектричних приймачів Datalogic S3Z-PH-2-B01-NN та передавачів Datalogic S3Z-F01.

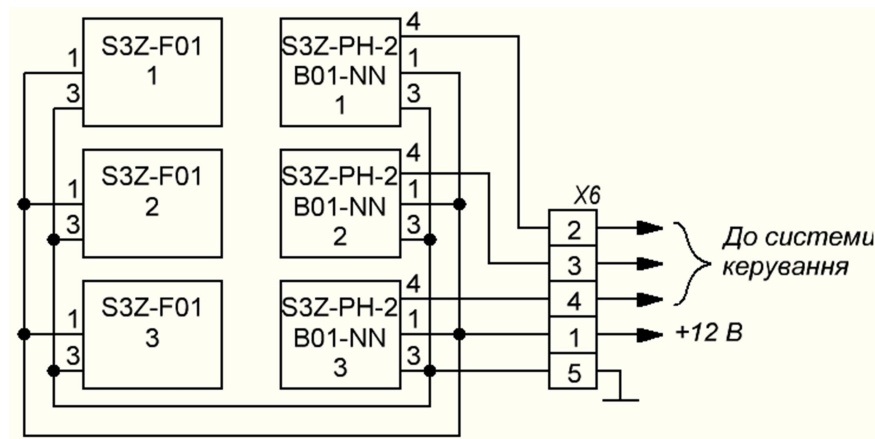


Рис. 2.2 Схема підключення трьох прийомо-передавальних фотоелектричних пар

Ємнісний датчик розташовується на підлозі та визначає присутність однієї та більше людей у приміщенні. Схема блоку ємнісного датчика зображена на Рис. 2.3.

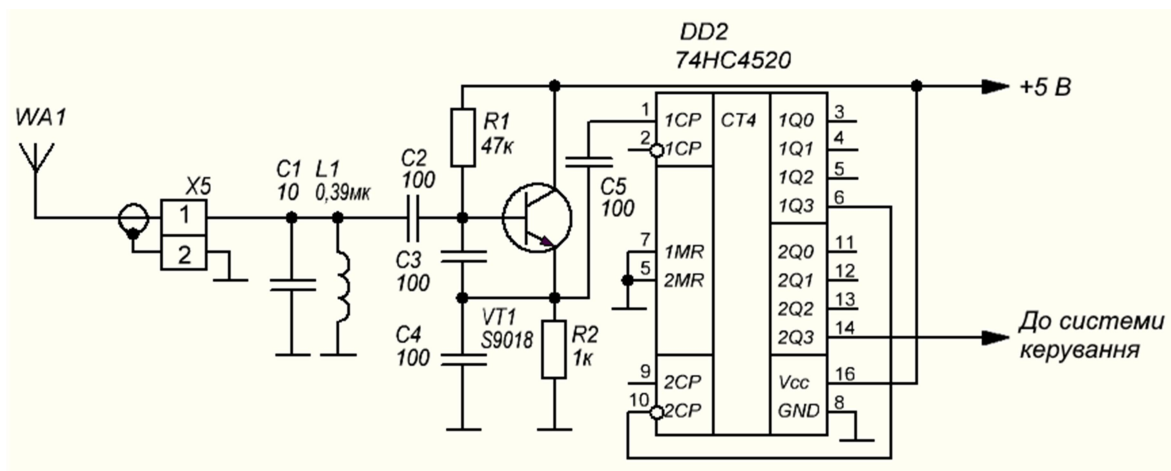


Рис. 2.3 Схема блоку ємнісного датчика  $WA_1$

Датчик освітлення розташовується біля вікна так, щоб на нього попадало лише світло з вулиці, та не попадало освітлення з приміщення. Він слідкує за природним рівнем освітлення та, у разі заниженого рівня, дає дозвіл на увімкнення освітлення у приміщенні. Схема блоку датчика освітлення зображена на Рис. 2.4.

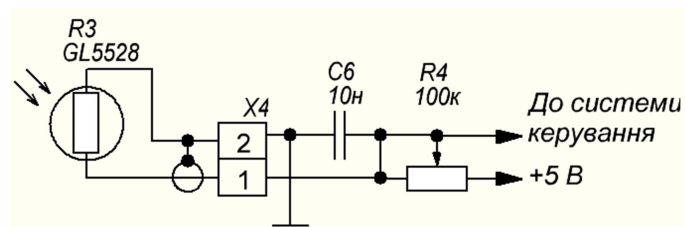


Рис. 2.4 Схема блоку датчика освітлення

Система керування приймає сигнали з датчиків, аналізує інформацію з них та керує освітлювальним пристроєм через драйвер. Система також може відображати свій стан та давати можливість керувати нею за допомогою відповідної периферії. На Рис. 2.5 зображено схему підключення головного елемента СК – мікроконтролера.

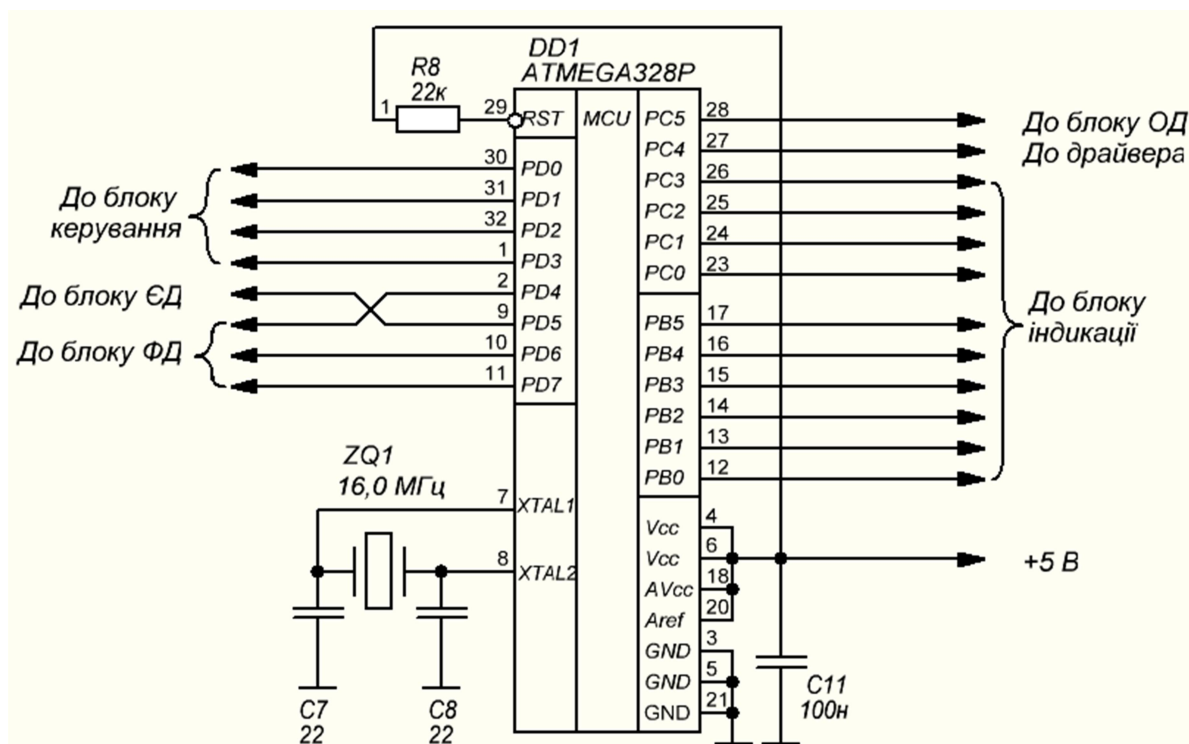


Рис. 2.5 Схема підключення МК у системі керування

Блок керування складається з кнопок, за допомогою яких користувач має змогу задавати системі керування параметри (проводити калібрування, перемикає режими тощо) та керувати нею вручну. Його схема наведена на Рис. 2.6.

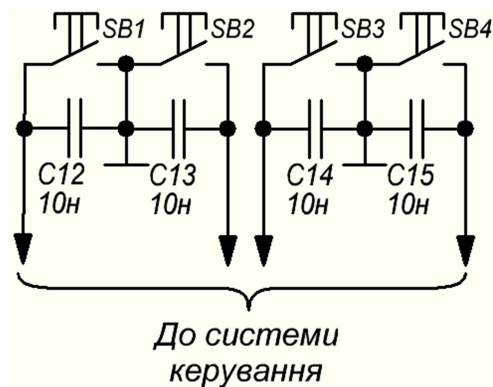


Рис. 2.6 Схема блоку керування

Блок індикації складається з цифрового дисплея, на якому відображається кількість людей у приміщенні на даний момент, та з індикаторів стану. Схема блоку індикації зображена на Рис. 2.7.

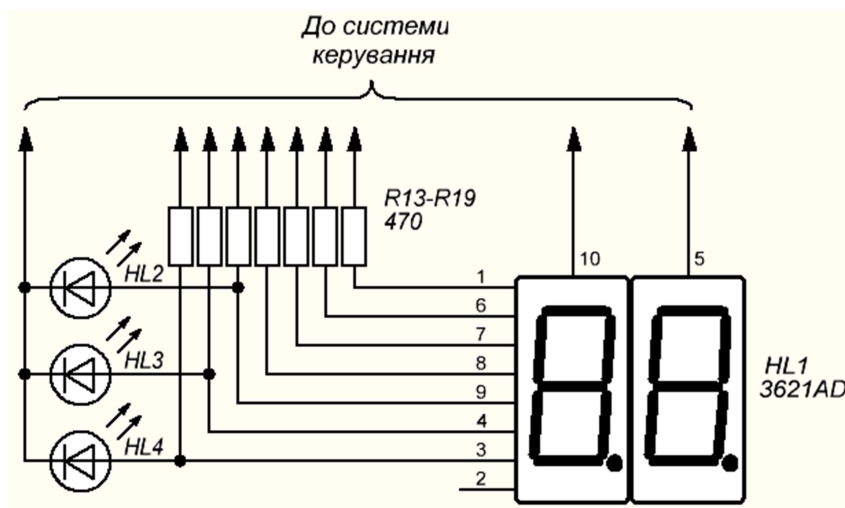


Рис. 2.7 Схема блоку індикації

Драйвер виконує роль перетворення інформаційного сигналу в енергетичний. Тобто його завдання підсилити сигнал, що надходить з системи керування, та отримати такий, що матиме змогу керувати потужними пристроями, яким для роботи потрібен значний струм та значна напруга. Схема даного блоку наведена на Рис. 2.8.

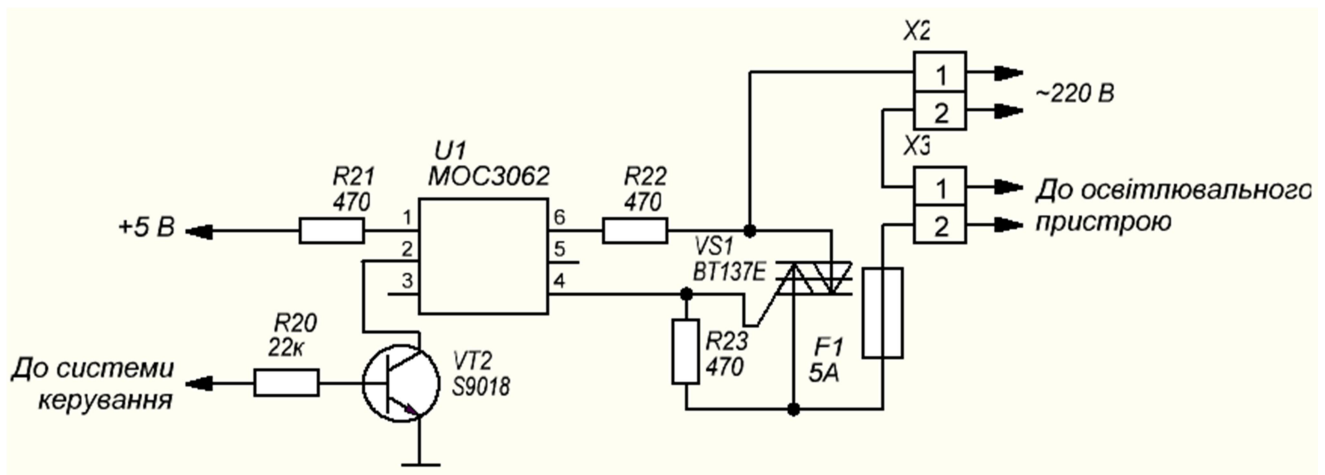


Рис. 2.8 Схема драйвера

Освітлювальний пристрій у даній системі є елементом навантаження, який генерує світловий потік, внаслідок якого забезпечується необхідний рівень освітлення у приміщенні, якщо рівень природного освітлення замалий. У якості такого пристрою може бути як звичайна лампа розжарювання, так і інші пристрої, що живляться змінною напругою 220 В та мають потужність не більшу, ніж може комутувати драйвер. На схемі (Рис. 2.9) даний пристрій показаний як елемент *EL*.

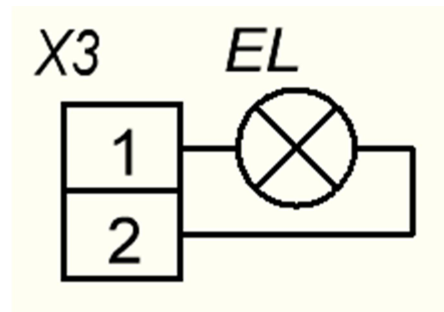


Рис. 2.9 Схема підключення пристрою освітлення *EL*

Також до цієї системи входять *блок живлення* та *стабілізатор* (Рис. 2.10). Блок живлення обирається з існуючих на ринку, та який відповідає вимогам, що висуваються до нього. А саме:

- напруга живлення – 12 В;
- струм живлення – від 1 А.

Даний елемент перетворює мережеву змінну напругу 220 В у постійну 12 В (обирається з урахуванням мінімальної напруги живлення фотоелектричних датчиків та максимальної напруги живлення мікросхеми стабілізатора). Він є

					ДП.ДЕ62.006.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

джерелом живлення для фотоелектричних датчиків, напруга живлення яких складає від 10 В до 30 В, та стабілізатора (рекомендовано від 7 В до 12 В задля уникнення надмірного нагріву) [20].

Стабілізатор у свою чергу перетворює постійну напругу 12 В у постійну напругу 5 В, та живить всю іншу частину системи. Даний блок зменшує пульсації вихідної напруги блока живлення, що робить її більш стабільною та запобігає збоям у роботі системи.

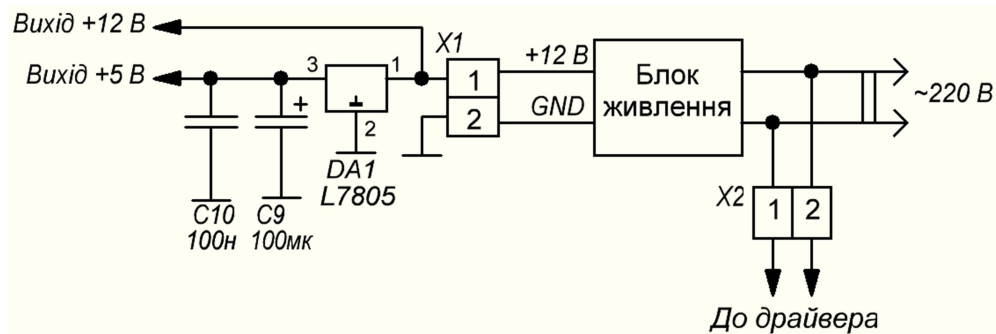


Рис. 2.10 Схема підключення блока живлення та стабілізатора

Однак у системі, окрім блока живлення, мережевою напругою живиться й освітлювальний пристрій, живлення якого комутує драйвер за допомогою спеціальних елементів.

## 2.3. Розробка принципової схеми

### 2.3.1. Розробка ємнісного датчика

Ємнісний датчик ( $W_{A1}$ ) представляє собою металеве покриття, що розташоване на підлозі під лінолеумом, ковроліном чи іншим діелектричним покриттям. У якості покриття використовується фольга, оскільки товщина металу особливої ролі у якості детекції присутності не грає, а тонкі шари легше піддаються обробці та покриттю підлоги. Покриття може бути не цілним, а у вигляді відрізків. У такому випадку усі сегменти повинні бути надійно з'єднані електрично по периметру.

До фольги з краю припаюється провід, що веде до входу генератора у системі. У випадку застосування алюмінієвої фольги, пайку потрібно проводити з використанням активних (кислотних) флюсів, що розчиняють оксидну плівку на

					ДП.ДЕ62.006.000 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



поверхні металу і забезпечать надійне сплавлення його з припоєм, а також і надійне з'єднання провідника з фольгою.

Провід повинен бути екранованим для зменшення сумарної номінальної ємності датчика, щоб покращити чутливість, та зменшення впливу зовнішніх електромагнітних перешкод. Для даної мети доцільно застосовувати коаксіальні кабелі, наприклад, марки RG-6.

Чутливий елемент у вигляді покриття фольги повинен фіксувати присутність по всій площі приміщення. Наявність людей поза приміщенням (за стіною, за дверима) датчик не повинен детектувати. Тому при проектуванні розмірів чутливого елемента потрібно покривати майже всю площу кімнати, з деяким відступом від стін для унеможливлення хибного спрацювання. Стіни мають екрануючу здатність, що додатково запобігає цьому, проте така дія може бути недостатньою.

Генератор ємнісного датчика виконаний за схемою генератора Клаппа (ємнісної трьохточки). За формулою (2.3) можна вирахувати номінали котушки  $L_1$  та конденсатора  $C_1$ , знаючи необхідну частоту. Генератор налаштований на частоту 38 МГц, отже номінал котушки складає 0,39 мкГн, а конденсатора – 10 пФ. При підключенні датчика частота генератора буде виражатися формулою, яка знаходиться з вираження (2.3) при паралельному підключенню ємності датчика  $C_D$  до конденсатора :

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_1 \left[ \frac{1}{\frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \frac{1}{C_4}} + C_1 + C_D \right]}}} \quad (2.1)$$

Частота при підключеному датчику, в залежності від наявності різних об'єктів у приміщенні та площі чутливого елемента, сягає значень у декілька мегагерц, оскільки датчик має значку, у порівнянні з конденсаторами  $C_1 - C_4$  ємність.

					ДП.ДЕ62.006.000 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 2.3.2. Налаштування фотоелектричних датчиків та датчика освітлення

Фотоелектричні датчики беруться у вигляді готових заводських пристроїв. Система автоматизації енергоспоживання розроблена під датчики типу S3Z (Рис. 2.11).

Ці датчики видають на виході логічний сигнал, у якому «0» та «1» (0 В та 12(5) В) – звичайний стан та спрацювання. Тобто сигнали таких приладів можна вважати цифровими.

Пари датчиків передавач-приймач розставляються у ряд по горизонталі у дверному проході на певній відстані одна від одної. Відстань повинна бути такою, щоб при проході через світлові промені людини, приймачі затінялися послідовно, щоб можна було визначити напрямок руху об'єкта. Оптимальною буде відстань, при якій одночасно затінюватися будуть 1 – 2 датчика, якщо це дозволяє товщина стінки, де знаходиться дверний прохід.

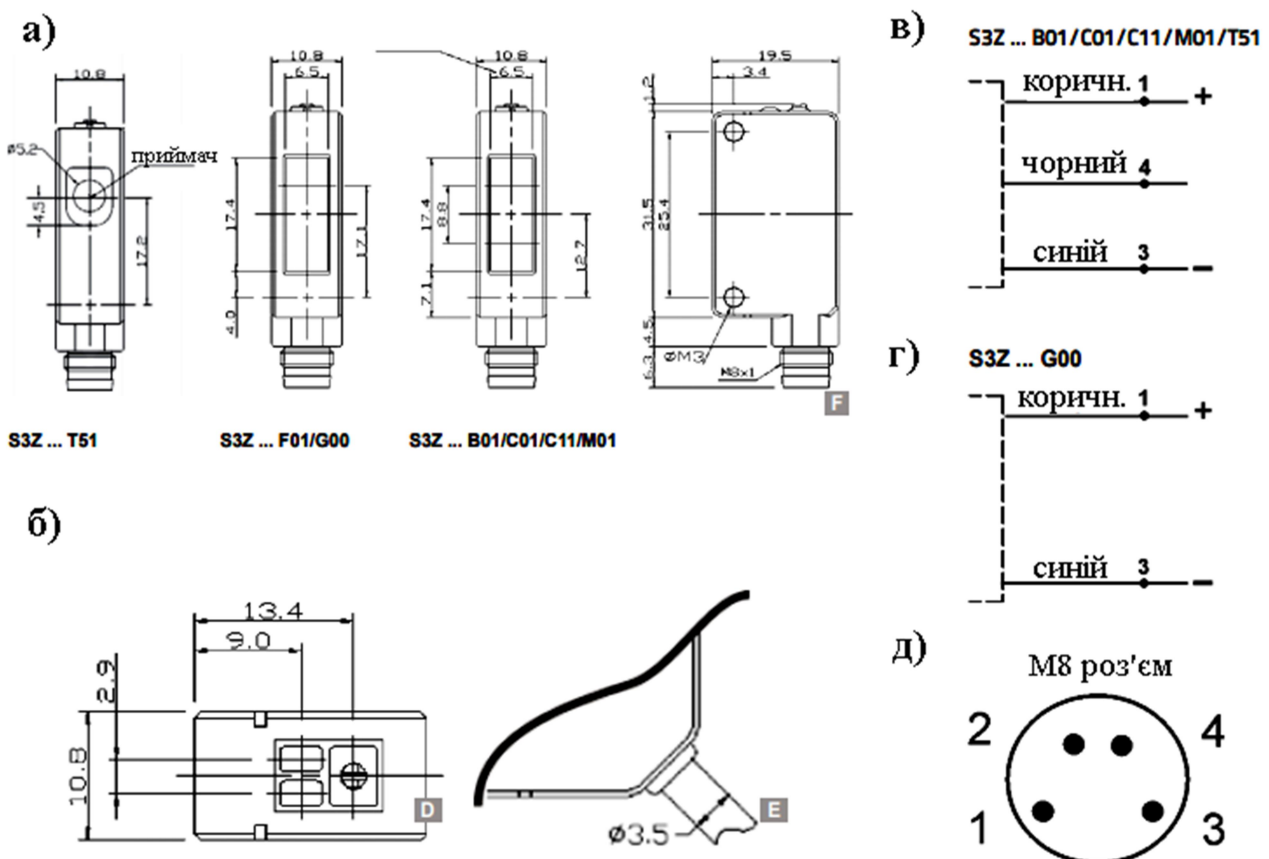


Рис. 2.11 Фотоелектричний датчик Datalogic S3Z: а, б) розміри датчика; в, г) розпіновка виводів приймача та передавача; д) розпіновка роз'єму датчика типу M8 [20]

У якості датчика освітлення ( $R_3$ ) використаний фоторезистор GL5528. Даний елемент установлюється у місці, де на нього попадає освітлення природне освітлення і не падає світло з керованого освітлювального пристрою. Доцільно його установлювати біля вікна, щоб слідкувати за світлом з вулиці та таким чином вимірювати природне освітлення приміщення.

Фоторезистор змінює свій опір в залежності від освітлення, що попадає на нього. Поставивши його у схему резисторного дільника напруги можна таким чином міряти його опір, тобто кількість падаючого на нього світла, вимірюючи напругу такого дільника. Отже, вихідний сигнал такого датчика – аналоговий. Резистор  $R_4$  дозволяє регулювати друге плече дільника для зміщення динамічного діапазону вихідного сигналу.

### 2.3.3. Розробка системи керування

Система керування розроблена на основі мікроконтролера Atmega328P ( $DD_I$ ) у корпусі LQFP32 (поверхневий монтаж). Даний МК має усі необхідні модулі для обробки сигналів з датчиків, а його кількість ліній вводу-виводу та швидкодія дозволяє коректно працювати з периферією та виконувати програмний код.

Датчики видають різні типи сигналів: ємнісний – частотно модульований, фотоелектричний – цифровий логічний, датчик освітлення – аналоговий. Відповідно для кожного типу сигналу потрібен свій модуль обробки.

### Обробка сигналу ємнісного датчика

Для ємнісного датчика необхідна наявність модуля, що вимірює частоту (частотомір). Таку функцію можна організувати за використанням таймерів T0 та T1, що інтегровані у мікроконтролер та виконують свої функції паралельно з мікропроцесором, таким чином знімаючи з нього програмне навантаження. T1 працює у режимі лічильника, на вхід якого подається вихідний сигнал з генератора ємнісного датчика. Мікропроцесор у рівні проміжки часу опитує та скидає значення лічильника T1, уникаючи його переповнення. Рівні проміжки

					ДП.ДЕ62.006.000 ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

задаються таймером T0, який також рахує імпульси, але вже від тактового генератора. При досягненні деякого встановленого значення або переповнення лічильника, T0 надсилає до мікропроцесора сигнал переривання і після цього виконується опрацювання даних лічильника T1. Сигнал з генератора датчика ємності спочатку подається на дільник частоти, що зібраний на здвоєному 4-розрядному лічильнику 74HC4520 ( $DD_2$ ). Схема ділить частоту на 8, оскільки T1 може працювати некоректно на частотах вище 5 МГц, а власна частота генератора датчика становить 38 МГц. Тому максимальна частота, яка буде поступати на вхід лічильника T1 буде у 8 разів меншою. Дільник частоти може працювати на частотах до 64 МГц, тому схема здатна коректно опрацювати даний сигнал [23][27].

### Обробка сигналів фотоелектричних датчиків

Фотоелектричні датчики видають сигнал з логічними рівнями «0» та «1». Отже, для обробки таких сигналів достатньо подати їх на лінії входів портів вводу-виводу. Дані датчики можуть видавати на вихід при спрацюванні 0 В, тобто підключення до землі – для типу NPN, та 12 В, тобто підключення до живлення датчика – для PNP. У випадку сигналу з рівнем 12 В між датчиком та мікроконтролером потрібно встановити дільник напруги або струмообмежуючі резистори для уникнення виходу з ладу при перевищенні напруги або струму на портах вводу-виводу [20].

### Обробка сигналу датчика освітлення

Фоторезистор ( $R_3$ ) ставиться в одне із пліч резисторного дільника напруги. Таким чином можна знімати напругу з дільника, яка залежить від опору фоторезистора, який в свою чергу залежить від кількості падаючого освітлення на його чутливий елемент. Резистор, що стоїть в іншому плечі, краще обирати змінним для регулювання зміщення напруги дільника. Це необхідно при зміні фоторезистора на інший, якщо й нього номінальний опір відрізняється, або для зміни динамічного діапазону напруги, якщо виникли проблеми у випадку

					ДП.ДЕ62.006.000 ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

занизького або зависокого рівня напруги спрацювання. Сигнал, що виходить з такої схеми – аналоговий. Тому для обробки його необхідний модуль АЦП, який буде оцифровувати його [22].

### Розробка драйвера системи керування

Драйвер системи виконаний з використанням симістора BT-137E (Рис. 2.12). Симістор  $VS_1$  вмикається в розрив живлення освітлювального пристрою в ключовому режимі (аналогічно вимикачу). Живлення пристрою мережеве зі змінною напругою 220 В. Симістор має властивість пропускати струм в обох напрямках з прикладанням напруги до 500 В, та протіканням струму до 8 А, тому ним можна комутувати пристрої, що живляться мережевою напругою, струм яких не перевищує 8 А. Для уникнення перегріву даного елемента необхідно монтувати його на радіатор [28].

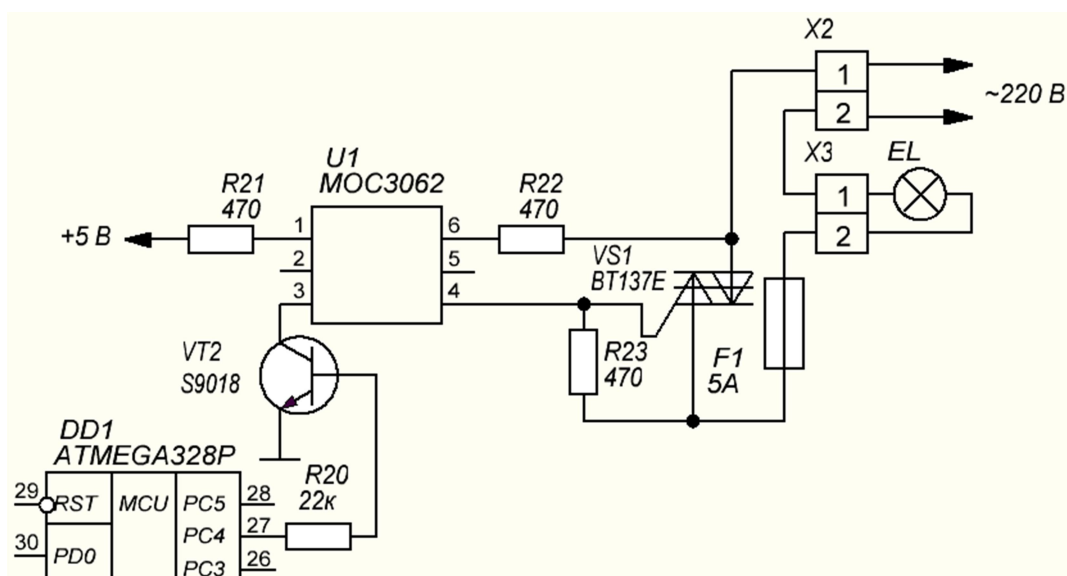


Рис. 2.12 Схема підключення драйвера до МК

Симістор керується оптосимістором MOC3062 ( $DA_2$ ). Він представляє собою інтегральну схему, на вході якої знаходиться світлодіод. При подачі сигналу на вхід світлодіод випромінює світло, яке попадає на фотосимістор. У цій схемі також присутній модуль, який фіксує перехід напруги на електродах елемента через нуль та керує фотосимістором лише при перетині нуля. Таким чином симістор відкривається і закривається лише при перетині напруги через

					ДП.ДЕ62.006.000 ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

нуль, завдяки чому не створюються сильні наводки при різкій подачі напруги на навантаження.

Для відкриття оптосимістора необхідний певний рівень його освітлення, тобто світлодіод повинен світити достатньо яскраво всередині даної схеми. Для цього на нього необхідно подати струм 15 мА – 20 мА. Лінії вводу-виводу мікроконтролера Atmega328P можуть пропустити через себе не більше 20 мА. Тому подача сигналу на світлодіод рекомендовано виконувати через транзистор ( $VT_1$ ), який буде підсилювати сигнал з МК [29].

### Розробка блоку вводу інформації

Для вводу інформації використовується набір з тактильних кнопок. Кожна кнопка повинна паралельно вмикатися з конденсатором. Таке підключення знижує вплив явища «брязкоту контактів» – хаотичного замикання-розмикання контактів у момент комутації механічних контактів. Сигнал при цьому не переходить одразу у стійкий стан, а певний час змінюється з одного стану на інший. МК може опрацювати таку подію як багаторазове натиснення кнопки, що не є правильним. Конденсатори згладжують перепади напруги при комутації, внаслідок чого мікроконтролер не фіксує такі малі перепади сигналу під час комутації.

Кнопки підключаються до ліній вводу-виводу, що налаштовані на вхід. МК поступово опитує стан кожної кнопки і таким чином відбувається ввід інформації. Лінії повинні бути підтягнуті до лінії живлення мікросхеми програмно за допомогою спеціальних регістрів при написанні коду, оскільки кнопки стягують виводи на землю.

### Розробка блоку індикації

Для блоку індикації обрано двох-розрядний семисегментний дисплей 3621AD, що має схему підключення зі спільним катодом, тобто сегменти світяться при подачі на них додатної напруги через струмообмежуючі резистори. У даному дисплеї задіяні усі сегменти, окрім «крапки». У якості світлових

					ДП.ДЕ62.006.000 ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

індикаторів задіяні світлодіоди, які увімкнені як сегменти дисплея за схожою схемою, але як третій розряд.

Яскравість усіх світлоелементів залежить від відносного часу свічення кожного елемента та номіналів струмообмежуючих резисторів. Резистори підбираються таким чином, щоб миттєвий струм через усі світлоелементи був приблизно 10 мА.

У даній схемі використовується динамічна індикація – кожен розряд ділиться на кількість сегментів, які світяться лише у момент активації свого розряду. Це дозволяє зменшити кількість використовуваних ліній вводу-виводу, оскільки виводи однакових сегментів з'єднуються. Доступ до кожного сегмента відбувається за двомірною адресою: номер розряду, номер сегменту. Час свічення бажано ставити однаковим для усіх розрядів для їх рівномірної яскравості. Частота перемикання при цьому повинна бути такою, щоб людське око не помічало перемикань розрядів. Зазвичай достатньо декілька сотень перемикань в секунду.

#### 2.3.4. Живлення схеми

Схема має два роз'єми живлення:  $X_1$  – 12 В та  $X_2$  – ~220 В. Вхід  $X_2$  надає напругу, що живить пристрій освітлення та комутується драйвером. Рекомендоване значення напруги не більше 400 В та дозволяється лише змінний струм. На Рис. 2.13 показано схему подачі живлення системи.

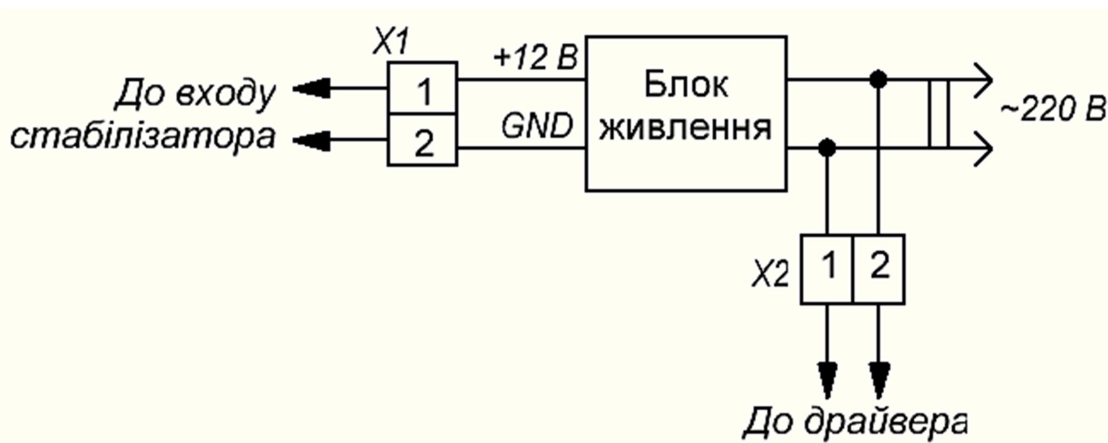


Рис. 2.13 Схема живлення системи

					ДП.ДЕ62.006.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

Вхід  $X_1$  призначений для підключення джерела постійної напруги 12 В, в ролі якого обрано імпульсний блок живлення з рекомендованим струмом від 500 мА. Ця напруга живить фотоелектричні датчики та є входною для стабілізатора напруги.

Стабілізатор виконаний з використанням мікросхеми L7805 ( $DA_1$ ) у корпусі SOT-252. Елемент приймає на вході напругу з блока живлення та перетворює її з 12 В на 5 В. На виході стабілізатора підключені електролітичний конденсатор великої ємності та керамічний малої ємності. Перший згладжує низькочастотні, а другий високочастотні пульсації, що у певній мірі все ж присутні після стабілізації (Рис. 2.14).

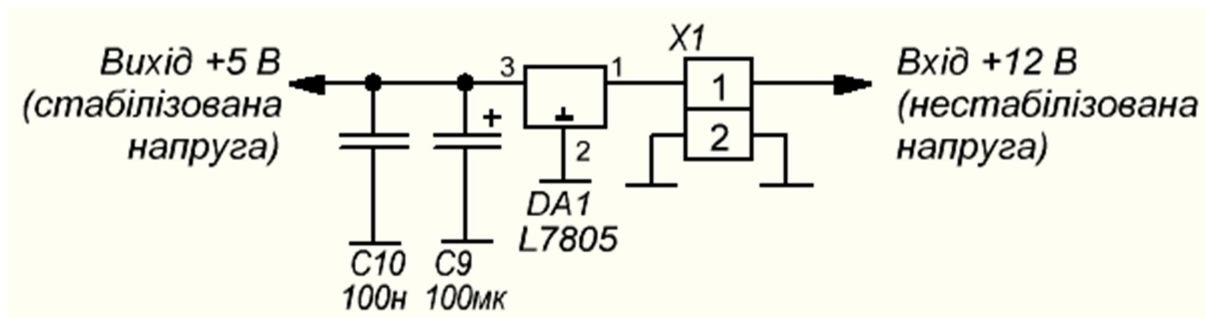


Рис. 2.14 Схема стабілізатора напруги

Лінія живлення 5 В є основним джерелом для роботи системи керування. Лінійна стабілізація має велику перевагу у відсутності власних ВЧ пульсацій, що присутні в імпульсних стабілізаторах. Для даної схеми це важливо, оскільки виконуються операції аналого-цифрового перетворення, для якого потрібне джерело порівняльної напруги, відносно якої виконується перетворення. Чим стабільнішою буде напруга цього джерела, тим точнішим буде перетворення.

Вивід МК, що відповідає за порівняльну напругу, позначений як **Aref**, вивід, що підключений до аналогової частини МК – **AVcc**, а для живлення усієї іншої частини мікросхеми – **Vcc**. Усі ці виводи живлення можна з'єднати між собою та підключити до лінії 5 В. Між ними та виводом землі **GND** необхідно якомога ближче до мікросхеми поставити керамічний конденсатор малої ємності, який згладжуватиме ВЧ пульсації по живленню, уникаючи можливих збоїв у роботі МК

					ДП.ДЕ62.006.000 ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



## 2.4. Програмування мікроконтролера

МК програмується за допомогою AVRISP програматора, який має USB інтерфейс для підключення його до персонального комп'ютера, та ISP – інтерфейс, що застосовується при передачі даних та стиранні мікроконтролерів й мікросхем пам'яті від Atmel. Програмний код, який записується у пам'ять мікросхеми при програмуванні називається **прошивкою**. Прошивка пишеться у програмному середовищі на конкретній мові програмування. У даному випадку це мова C. Середовище, у якому відбувалося написання коду та його відлагодження – Atmel Studio 6.

Перед початком процесу програмування варто налаштувати конфігураційні біти, які ще називаються **ф'юз-бітами** (FUSE – від англ. перемичка). На Рис. 2.15 показано вікно програми AVRDUDE 3.3, де у вкладці Fuses показані усі конфігураційні біти для мікроконтролера Atmega328P. Для даної прошивки потрібно зняти галочку з функції CKDIV8, яка відповідає за ділення частоти, що поступає на мікропроцесор з тактового генератора на 8. У даному випадку частота генератора задається кварцевим резонатором і дорівнює 16 МГц. Чи більша частота мікропроцесора, тим краща його швидкодія. Максимально рекомендоване значення для даного мікроконтролера становить 16 МГц – 20 МГц. Всі інші ф'юз-біти залишаються як на рисунку нижче.

Lock Byte				
<input checked="" type="checkbox"/> NOT USED	<input checked="" type="checkbox"/> NOT USED	<input type="checkbox"/> BOOTLOCK12	<input type="checkbox"/> BOOTLOCK11	HEX 3F
<input type="checkbox"/> BOOTLOCK02	<input type="checkbox"/> BOOTLOCK01	<input type="checkbox"/> LOCKBIT2	<input type="checkbox"/> LOCKBIT1	
Fuse High Byte				
<input type="checkbox"/> RSTDISBL	<input type="checkbox"/> DWEN	<input checked="" type="checkbox"/> SPIEN	<input type="checkbox"/> WDTON	HEX D9
<input type="checkbox"/> EESAVE	<input checked="" type="checkbox"/> BOOTSZ1	<input checked="" type="checkbox"/> BOOTSZ0	<input type="checkbox"/> BOOTRST	
Fuse Low Byte				
<input type="checkbox"/> CKDIV8	<input type="checkbox"/> CKOUT	<input type="checkbox"/> SUT1	<input checked="" type="checkbox"/> SUT0	HEX E2
<input checked="" type="checkbox"/> CKSEL3	<input checked="" type="checkbox"/> CKSEL2	<input type="checkbox"/> CKSEL1	<input checked="" type="checkbox"/> CKSEL0	
Fuse Extended Byte (Fuse Byte)				
<input checked="" type="checkbox"/> NOT USED	<input checked="" type="checkbox"/> NOT USED	<input checked="" type="checkbox"/> NOT USED	<input checked="" type="checkbox"/> NOT USED	HEX 07
<input checked="" type="checkbox"/> NOT USED	<input type="checkbox"/> BODLEVEL2	<input type="checkbox"/> BODLEVEL1	<input type="checkbox"/> BODLEVEL0	
Programm    Verify    Read    Default value				
Settings				
Programmer USBasp	Port usb	Fuses <input type="radio"/> Non-invert <input checked="" type="radio"/> Inverted	Language English	

Рис. 2.15 Вікно програми AVRDUDE 3.3, вкладка Fuses. Конфігурація ф'юз-бітів для мікроконтролера Atmega328P

### 2.4.1. Алгоритм програми

В основу прошивки входять функції обробки сигналів з датчиків, аналіз, ввід та вивід інформації й власне саме керування освітленням. До основних функцій, що виконують у програмному коді можна віднести: ініціалізація мікроконтролера, ввід інформації з кнопок, вивід інформації на дисплей та індикатори, зчитування сигналів з датчиків, калібрування, зчитування та оновлення конфігурації, інкрементація та декрементація лічильника присутності, опрацювання помилки, активація та деактивація освітлювального пристрою. Виконання програми поділяється на два етапи: ініціалізація (скидання та установка значень системних регістрів, ініціалізація периферії, очищення оперативної пам'яті, ініціалізація змінних, завантаження конфігураційних даних тощо) та основний цикл (програма виконується у безкінечному циклі, у якому записані усі необхідні функції для системи керування).

На Рис. 2.16 показано алгоритм програми у вигляді блок-схеми, де зображено основні функції та шляхи виконання програмного коду. Після написання та відлагодження коду в програмі Atmel Studio 6, прошивка компілюється. Вихідний файл прошивки додатково завантажується у середовище моделювання (симуляції) електричних схем Proteus 8 Demo та після цього йде перевірка роботи усієї схеми. У разі успішного симулювання роботи схеми прошивка записується у пам'ять мікроконтролера з попередньо виставленими ф'юз-бітами за допомогою програматора.

					ДП.ДЕ62.006.000 ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

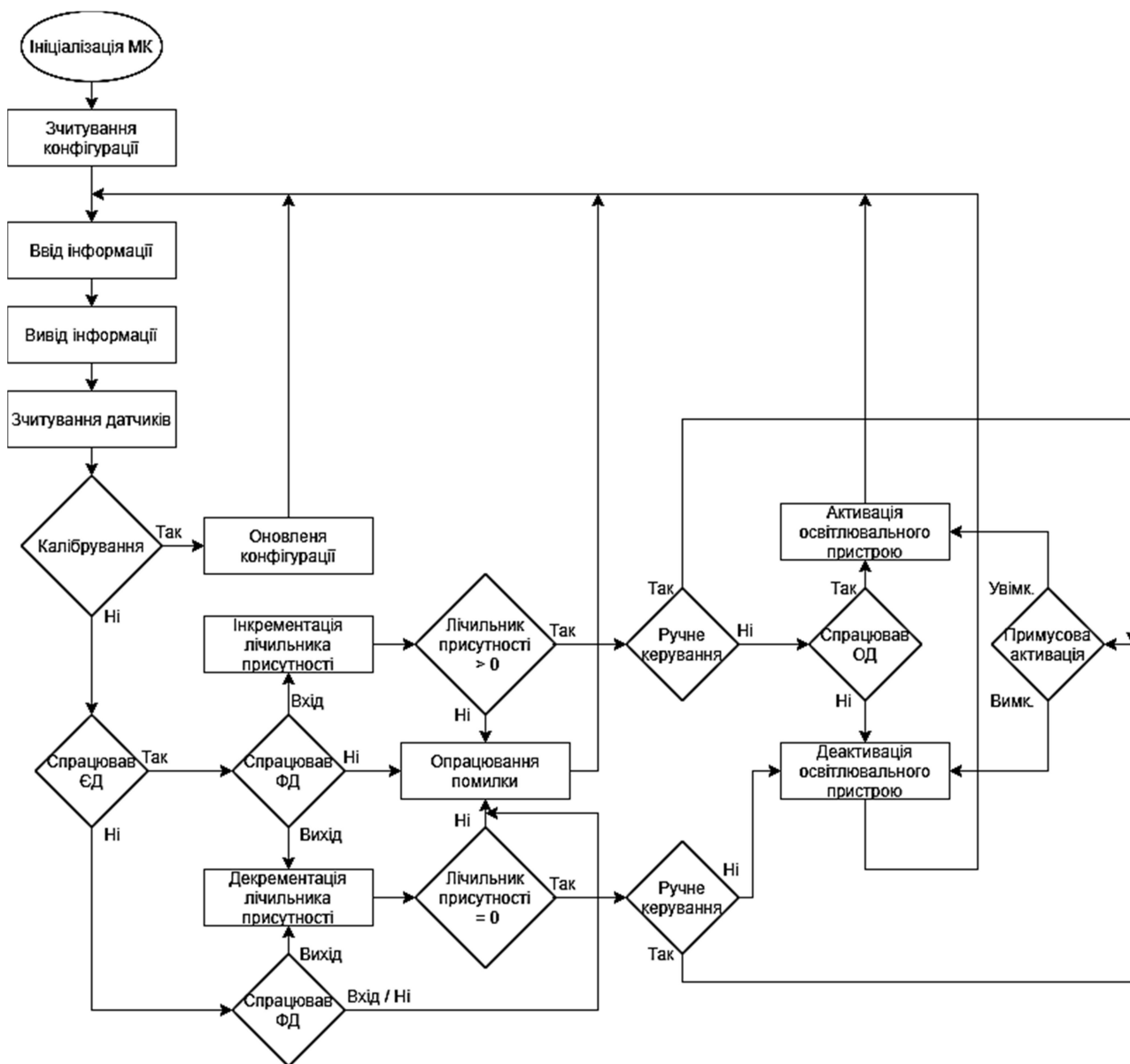


Рис. 2.16 Алгоритм програми системи керування

## 2.5. Калібрування

Калібрування містить під собою встановлення рівня порогової ємності та освітлення для коректного спрацювання датчиків ємності та освітлення.

Калібрування ємнісного датчика проводиться у тому випадку, коли в приміщенні відбулась перестановка великих предметів або занесення чи винесення предметів з приміщення. В результаті цих дій номінальна ємність датчика змінюється. Відповідно при цьому потрібно її фіксувати.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Для того, щоб відкалібрувати ємнісний датчик, у контрольованому приміщенні не повинно бути людей, окрім користувача. Функція виконується при натисненні кнопки «калібрування присутності». При цьому система записує частоту генератора, яка є у цей момент, і по ній у подальшому буде визначати присутність.

Калібрування датчика освітленості проводиться у випадку, коли датчик був переміщений на інше місце установки, і, як наслідок, рівень падаючого природнього світла змінився.

Процес калібрування даного датчика відбувається по натисканню кнопки «Калібрування освітленості». При цьому система повинна бути переведена в режим ручного керування по натисканню кнопки «Ручне керування» і освітлювальний пристрій повинен бути вимкнений, а рівень природнього освітлення контрольованого приміщення повинен бути таким, при якому необхідна активація освітлення. Значення з фоторезистора записується у пам'ять і буде у подальшому використовуватися для порівняння з виміряним рівнем освітлення та визначати необхідність активації або деактивації освітлювального пристрою.

					ДП.ДЕ62.006.000 ПЗ	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Висновки до розділу 2

Отже, система автоматизації енергоспоживання повинна складатися з таких блоків: ємнісний датчик, фотоелектричний датчик, датчик освітлення, система керування, блок індикації, блок керування, драйвер та освітлювальний пристрій.

Ємнісний датчик береться у вигляді металевої пластини або покриття, яке підключено до входу ВЧ генератора. Його завдання фіксувати присутність у приміщенні.

Фотоелектричні датчики обираються під маркою S3Z від Datalogic та складають систему з трьох прийомо-передавальних пар. Така система дозволить визначати напрямок руху людей через дверний прохід.

Датчик освітлення береться у вигляді фоторезистора GL5528. Він потрібен для увімкнення освітлення лише якщо рівень природного освітлення занижений.

Система керування базується на мікроконтролері ATmega328P. За допомогою блоку керування та блоку індикації надається користувачеві можливість керувати системою та бачити її стан.

Драйвер системи керування комутує живлення освітлювального пристрою. У якості комутатора обирається симістор BT-137E, що дозволяє оперувати мережевою напругою ~220 В та струмом до 8 А.

Освітлювальний пристрій живиться напругою ~220 В та підключається як навантаження до виходу драйвера. У якості даного елемента може бути лампа розжарювання чи інші освітлювальні елементи, які мають таку ж напругу живлення та не перевищують максимальну потужність, якою може оперувати драйвер.

Програмування МК відбувається з використанням ISP програматора USBasp, який підключається до персонального комп'ютера за допомогою USB інтерфейсу.

					ДП.ДЕ62.006.000 ПЗ	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3. МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА ЄМНІСНОГО ДАТЧИКА

Для перевірки роботи системи було виконано попереднє моделювання схеми у програмному середовищі Proteus 8 Demo (Рис. 3.1). На даному етапі визначалась працездатність прошивки МК, його реакцію на зміни сигналів з датчиків та з блоку керування, та правильність роботи драйвера. Фотоелектричні датчики замінені на перемикачі, ємнісний датчик замінено на генератором електричних коливань, датчик освітлення – на змінний резистор. Дані елементи не можна перевірити, оскільки середовище, у якому відбувається перевірка – віртуальне. Тому усі датчики було замінено на елементи, що імітують сигнали з усіх датчиків. Моделювання показало, що прошивка працює правильно, усі блоки коректно виконують свої функції.

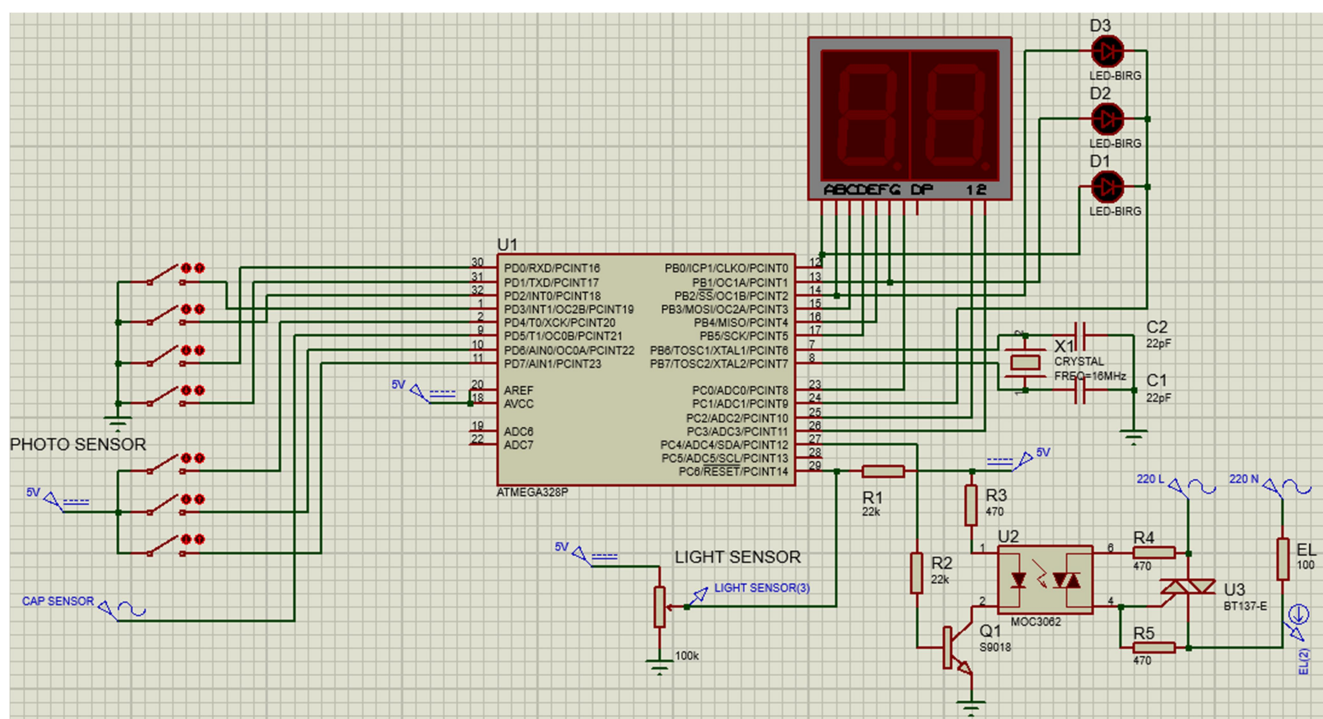


Рис. 3.1 Модель системи у середовищі Proteus

Для отримання більш точних результатів складено тестову схему на макетній платі та проведено тестування усієї системи (Рис. 3.2). У тестову систему входили такі блоки та компоненти: МК, генератор ємнісного датчика, блок датчика освітлення, драйвер, блок керування та індикації. Фотоелектричні датчики замінено на перемикачі, які імітували сигнали з цих датчиків.

					ДП.ДЕ62.006.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

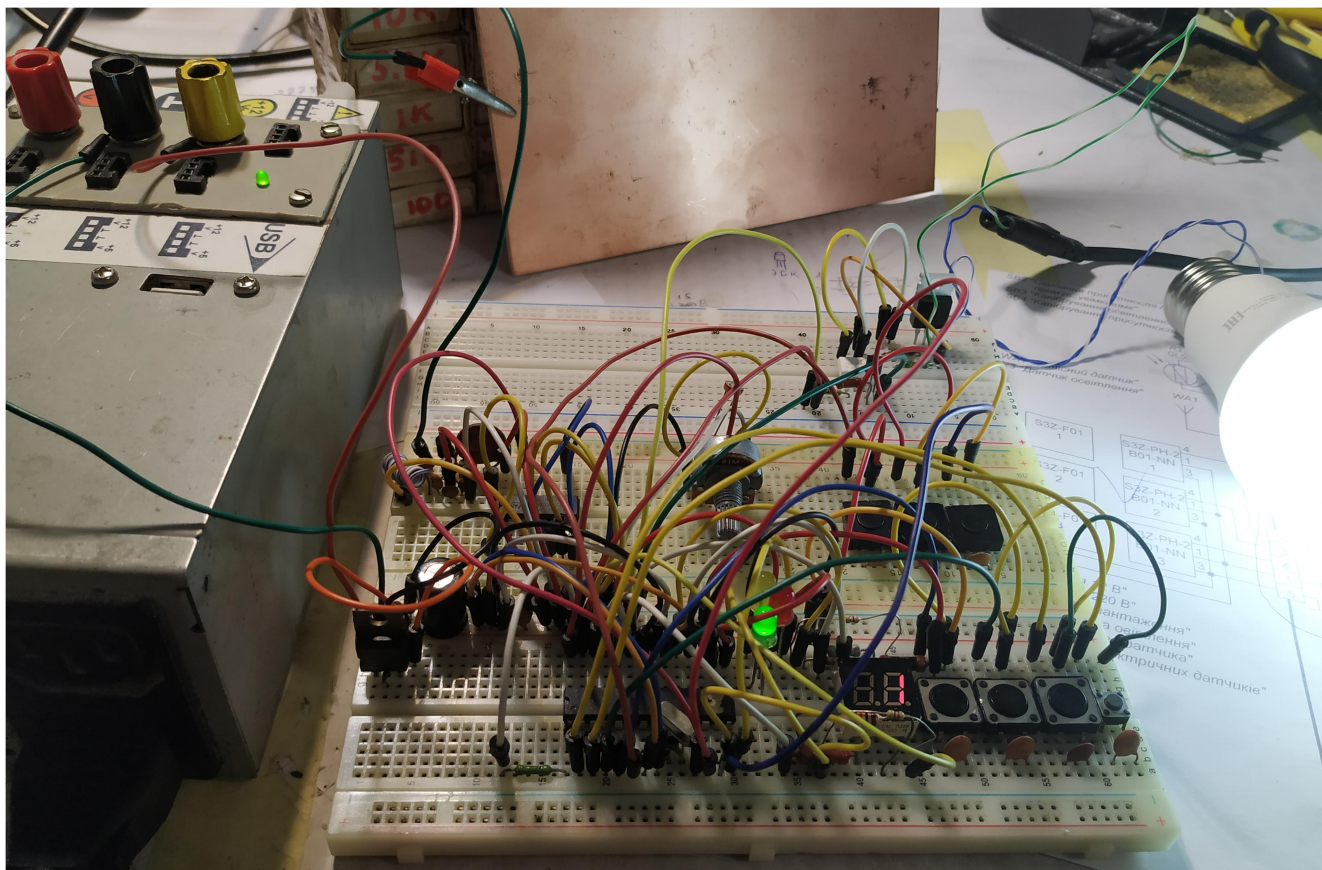


Рис. 3.2 Тестовий стенд

При першому старті вияснилося, що генератор ємнісного датчика може мати проблеми із запуском. Для цього потрібно підібрати номінал резистора  $R_I$ . У даному випадку номінал 100 кОм замінено на 47 кОм, після чого генератор почав стабільно працювати. Власна частота при цьому мала значення 36,45 МГц – 36,5 МГц. Таку відмінність від теоретичної частоти можна пояснити похибкою номіналів LC контуру та збіркою, що проводилась на макетній платі, а отже були присутні наводки та паразитні ємності й індуктивності.

Для тестування датчика ємності у якості чутливого елементу обрано пластину з фольгованого міддю склотекстоліту. Було проведено дослідження зміни частоти генератора від відстані між об'єктом впливу та поверхнею пластини.

Максимальна відстань, на якій датчик здатен зафіксувати наявність об'єкта залежить від розмірів робочої поверхні чутливого елемента та розміру самого об'єкта. Наприклад, при площі робочої поверхні в 1625 см<sup>2</sup> датчик починає фіксувати людину масою в 70 кг на відстані не більше 1 м, а при площі 350 см<sup>2</sup>

					ДП.ДЕ62.006.000 ПЗ	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



пластмасова тара з водою, об'ємом 1 л, фіксується на відстані не більше 20 см (Рис. 3.3).

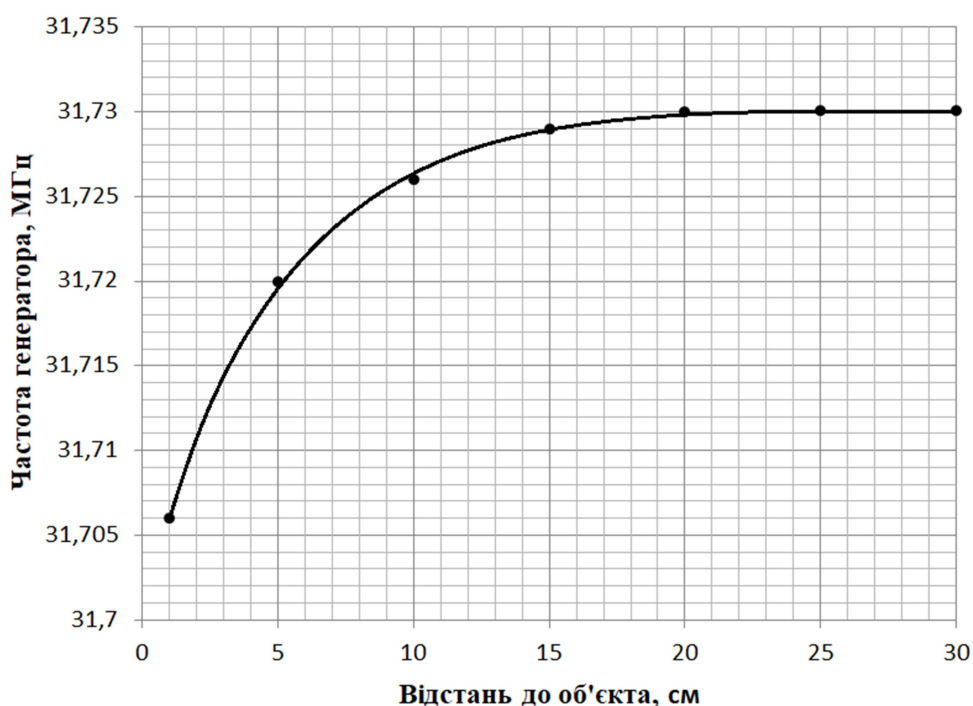


Рис. 3.3 Залежність вихідної частоти генератора від відстані між датчиком та об'єктом впливу (робоча площа чутливого елемента – 350 см<sup>2</sup>, об'єкт – пластмасова тара з водою, об'ємом 1 л) [30]

При зміні розмірів робочої поверхні та розміру об'єкта форма графіка залишається аналогічною. Змінюється діапазон частоти генератора (ємності датчика) та відстань, на якій прилад здатен фіксувати наявність об'єкта.

При збільшенні площі пластини до 1625 см<sup>2</sup> частота генератора при цьому змінилась до 14,5 МГц. Користуючись формулою (3.1) можна обчислити, що у попередньому випадку при площі 350 см<sup>2</sup> ємність датчика буде приблизно 30 пФ, а після збільшення робочої поверхні – приблизно 300 пФ. На людину масою 75 кг датчик починає реагувати на відстані 95 см. Отже, ємнісний датчик працює коректно.

Робота датчика освітлення показала його здатність відрізняти освітлення вдень та увечері. Додаткового налагодження не знадобилося. Датчик почав працювати одразу при старті, отже даний блок виконує функції правильно.

					ДП.ДЕ62.006.000 ПЗ	Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Фотоелектричні датчики замінені для тесту на перемикачі, що подають на вхід системи при перемиканні 12 В. МК фіксує дані сигнали правильно. Якщо перемикати по черзі усі перемикачі та робити це неподалік від пластини, щоб відбувалося спрацювання датчика ємності, то система починає рахувати кількість «пройдених» через фотоелектричні датчики об'єктів, що свідчить про працездатність.

Дисплей та індикатори працюють з достатньою яскравістю для бачення їх при денному світлі. Помітного мерехтіння через динамічну індикацію не виявлено.

Блок керування працює правильно. МК зчитує стани кнопок без «брязкоту контактів» при перемиканні кнопок.

Калібрування виконується коректно. Записані раніше дані мікроконтролер зчитує, порівнюючи їх з даними, що поступають з датчиків, та керує активацією. Це видно, якщо на вивід МК (PC4), що підключається до бази транзистора керування оптосимістором ( $VT_1$ ), підключити мультиметр в режимі вольтметра.

Драйвер перевірявся при напрузі  $\sim 220$  В з підключенням до його виходу лампи розжарювання потужністю 75 Вт та подачею на транзистор  $VT_1$  сигналу високого рівня. Лампа при цьому засвічувалась без перебоїв. За 5 хвилин роботи симістор, який знаходився без прикріпленого до нього радіатора, нагрівся до температури не більше 40 градусів. Отже, при потужності навантаження у 75 Вт даний елемент може працювати без додаткового тепловідводу. Однак при збірці даної схеми радіатор варто поставити для можливості підключення навантаження більшої потужності. Так при підключенні лампи на 100 Вт симістор почав помітніше грітися, тому вже при більших потужностях рекомендовано забезпечувати додатковий тепловідвід.

					ДП.ДЕ62.006.000 ПЗ	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Проблеми роботи системи та їх вирішення

Проблема	Вирішення
Не працює генератор ємнісного датчика	Підібрати потрібний номінал резистора $R_I$
Ємнісний датчик фіксує постійні хибні спрацювання	Перевірити кабель підключення чутливого елемента до генератора на наявність поганого контакту та віддалити його від дротів мережевого живлення $\sim 220$ В. Провести калібрування датчика за необхідністю
Напруга з датчика освітлення змінюється в малому діапазоні	Змінити зміщення напруги датчика за допомогою резистора $R_4$
Система не фіксує або фіксує неправильно спрацювання фотоелектричних датчиків	Перевірити попадання світлових променів на приймачі та порядок підключення датчиків до системи
Освітлювальний пристрій час від часу вимикається, а лічильник присутності скидається зі станом помилки	Перевірити блок живлення на наявність сильних пульсацій та за необхідністю замінити його
Індикація стану помилки при проході через двері	Натиснути кнопку «Скидання кількості» для скидання лічильника. У разі появи помилки при кожному проходженні через двері перевірити правильність підключення фотоелектричних датчиків
Система активувала пристрій освітлення і не вимикає його або не відбувається керування ним	Перевірити попадання світла з керованого освітлювального пристрою на датчик освітлення. Провести калібрування датчика за необхідністю

## Загальні висновки

У системі автоматизації енергоспоживання в офісних приміщеннях, враховуючи переваги, недоліки та принципи роботи застосовано ємнісний датчик присутності, систему з трьох фотоелектричних датчиків руху й датчик освітленості. Система в цілому складається з наступних складових: ємнісний датчик, фотоелектричний датчик, датчик освітлення, система керування, блок індикації, блок керування, драйвер та освітлювальний пристрій.

Система з фотоелектричних датчиків Datalogic S3Z контролює переміщення об'єктів через двері, визначаючи кількість людей, що зайшло або вийшло з кімнати. Датчики встановлюються у дверному проході. Вони діляться на передавачі та приймачі. Передавач і приймач ставиться напроти один одного так, щоб світловий промінь з одного елемента потрапляв на інший. Три пари датчиків розташовуються у горизонтальний ряд так, щоб при проходженні людини світлові промені переривалися один за одним.

Ємнісний датчик визначає присутність людей у кімнаті. Він має вигляд металевого покриття з фольги, що розташоване під лінолеумом або іншого діелектричного покриття. У якості пристрою вимірювання ємності використовується генератор електричних коливань, частота якого залежить від ємності датчика. Вихідний сигнал поступає на систему керування, яка у режимі частотоміра стежить за частотою, а отже і за ємністю датчика.

Датчик освітленості слідкує за рівнем освітлення у приміщенні, за допомогою чого система буде вмикати освітлювальні прилади лише у випадку, коли рівень освітленості нижче встановленого порогу, котрий задається у системі користувачем. У якості даного датчика використовується фоторезистор GL5528, що знімає рівень освітлення з вулиці таким чином, щоб на нього не потрапляло світло з приміщення (з керованого освітлювального пристрою).

Система керування створена на основі мікроконтролера Atmega328P, характеристики якого задовольняють вимоги, які ставляться до даної системи. Програмування МК відбувається з використанням ISP програматора USBasp, який підключається до персонального комп'ютера за допомогою USB інтерфейсу.

					ДП.ДЕ62.006.000 ПЗ	Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Блок керування містить у собі чотири кнопки, які відповідають за функції калібрування ємності та рівня освітлення, скидання кількості осіб у приміщенні й керування ручним режимом.

Блок індикації складається з двох розрядного семи сегментного дисплея, на якому відображається кількість осіб у приміщенні на даний момент, та трьох світлодіодних індикаторів, що оповіщають про повідомлення: «активація» – спрацювання датчиків та активація освітлювального пристрою, «помилка» – хибне спрацювання датчиків або невірна кількість нарахованих осіб у приміщенні, «ручне керування» – режим ручного керування освітленням за допомогою відповідних кнопок.

Драйвер виконаний з використанням симістора, який комутує живлення освітлювального пристрою змінною напругою 220 В, приймаючи сигнали з системи керування. Обрано симістор ВТ-137Е, що дозволяє оперувати мережевою напругою ~220 В та струмом до 8 А.

Освітлювальний пристрій живиться напругою ~220 В та підключається як навантаження до виходу драйвера. У якості даного елемента може бути лампа розжарювання чи інші освітлювальні елементи, які мають таку ж напругу живлення та не перевищують максимальну потужність, якою може оперувати драйвер.

На основі проведеного моделювання схеми та подальшого її зібрання на тестовій платі виявлено, що дана схема після монтажу може потребувати налаштування. Це стосується резистора  $R_1$  у генераторі ємнісного датчика та резистора  $R_4$ , що знаходиться у схемі датчика освітлення та відповідає за зміщення напруги резисторного дільника. Можливі проблеми з роботою системи та їх вирішення занесено у таблицю 3.1.

У якості ємнісного датчика використано металеву пластину, яка змінює свою ємність при наявності людини на відстані менше одного метра. Тому чутливий елемент варто розміщувати на підлозі під шаром діелектричного покриття. У такому разі при наявності людини у контрольованому приміщенні відстань між тілом і поверхнею чутливого елемента буде завжди мінімальною.

					ДП.ДЕ62.006.000 ПЗ	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для датчика освітлення обрано фоторезистор, що направлено в сторону вікна та відвернуто від світла, що випромінює контрольований освітлювальний пристрій.

Драйвер здатний без перегріву керувати живленням освітлювальних пристроїв, сумарна потужність яких складає 100 Вт, якщо на симісторі немає додаткового тепловідводу. Враховуючи струм, який здатен тримати даний симістор, ним можна комутувати прилади і до 500 Вт, встановивши його на радіатор.

Система встановлюється лише у невеликих офісних приміщеннях. У випадку великих площ ємність датчика присутності буде надто великою і система може працювати некоректно з даним елементом.

У подальшому в цій системі планується покращити алгоритм обробки інформації з датчиків, опрацювання помилок при їх роботі та можливе застосування інших типів датчиків для усунення появи помилок при роботі, що описані у таблиці 3.1.

					ДП.ДЕ62.006.000 ПЗ	Арк.
						81
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] “Датчики движения.” *[Электронный ресурс]* – Режим доступа: <https://savesys.ru/umnyi-dom/datchiki/datchiki-dvizheniya.html> // (дата звернення: 03.04.2020)
- [2] Adafruit, “How PIRs Work,” 2017, *[Электронный ресурс]* – РЕЖИМ ДОСТУПУ: <https://learn.adafruit.com/pir-passive-infrared-proximity-motion-sensor/how-pirs-work> // (дата звернення: 03.04.2020)
- [3] Lucintel, “Growth Opportunities in the Global Infrared Detector Market,” 2017, *[Электронный ресурс]* – РЕЖИМ ДОСТУПУ: <https://www.lucintel.com/global-infrared-detector-market-2016.aspx> // (дата звернення: 03.04.2020)
- [4] SimpsiSafe, “Motion Detectors,” 2017, *[Электронный ресурс]* – РЕЖИМ ДОСТУПУ: <https://simplisafe.com/blog/motion-detector-guide> // (дата звернення: 03.04.2020)
- [5] Фрайден Дж., “Современные датчики. Справочник”, Техносфера. Москва, 2005, **ISBN: 5-94836-050-4**.
- [6] В.Е.Г., “Высокочастотные датчики: применение и особенности настройки,” 2016, *[Электронный ресурс]* – РЕЖИМ ДОСТУПУ: [https://beg-russia.ru/blog/2016/09/06/visokochastotnie\\_datchiki](https://beg-russia.ru/blog/2016/09/06/visokochastotnie_datchiki) // (дата звернення: 04.04.2020)
- [7] Theben, “How does a presence detector work,” 2017, *[Электронный ресурс]* – РЕЖИМ ДОСТУПУ: <http://www.thebenchina.com/en/Presence-detector-for-the-energy-efficient-lighting-control.htm#technik> // (дата звернення: 04.04.2020)
- [8] Платт Ч., Янсон Ф., “Энциклопедия электронных компонентов. Том 3,” БХВ-Петербург, 2016. , **ISBN: 978-5-9775-3766-7**.
- [9] Techtrends, “Фотоэлектрические датчики: назначение и устройство. Принцип работы фотоэлектрических датчиков,” 2019, *[Электронный ресурс]* – РЕЖИМ ДОСТУПУ: <https://techtrends.ru/resources/articles/fotoelektricheskie-datchiki> // (дата звернення: 04.04.2020)

					ДП.ДЕ62.006.000 ПЗ	Арк.
						82
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

[10] “Датчики присутствия.” [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://savesys.ru/umnyiy-dom/datchiki/datchiki-prisutstviya.html> // (дата звернения: 04.04.2020)

[11] “Ультразвуковые датчики.” [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://electricalschool.info/automation/1548-ultrazvukovye-datchiki.html> // (дата звернения: 04.04.2020)

[12] Сидорков Е. С., “Датчик присутствия и движения для включения света,” [Электронный ресурс] – РЕЖИМ ДОСТУПУ: <https://elektro.guru/osveschenie/datchik-prisutstviya-i-dvizheniya-dlya-vklyucheniya-sveta.html> // (дата звернения: 05.04.2020)

[13] Кашкаров А. П., “Датчики в электронных схемах: от простого к сложному”. ДМК Пресс, 2013, **ISBN:** 978-5-94074-953-0.

[14] D. B. Kandic, B. D. Reljin, I. S. Reljin “On Modelling of Two-Wire Transmission Lines,” 2012, **DOI:** [10.1155/2012/351894](https://doi.org/10.1155/2012/351894)

[15] Бартош А., “Схемы датчиков движения и принцип их работы, схемы подключения,” Электрик Инфо, [Электронный ресурс] – РЕЖИМ ДОСТУПУ: <http://elektrik.info/main/automation/1391-shemy-datchikov-dvizheniya.html> // (дата звернения: 15.04.2020)

[16] T. Youngblood, “Reading Sensors with an Arduino,” *All About Circuits*, 2015, [Электронный ресурс] – РЕЖИМ ДОСТУПУ: <https://www.allaboutcircuits.com/projects/reading-sensors-with-an-arduino> // (дата звернения: 18.04.2020)

[17] Шустов М. А., “Практическая схемотехника. 450 полезных схем радиолюбителям,” Альтекс-А. Москва, 2003, **ISBN:** 5-94271-002-3.

[18] Whites K. W., “Lecture #24: Oscillators. Clapp oscillator. VFO startup,” *Electron. II – Wirel. Commun. Electron.*, 2017, [Электронный ресурс] – РЕЖИМ ДОСТУПУ: <http://educypedia.karadimov.info/library/322Lecture24.pdf> // (дата звернения: 23.04.2020)

[19] Ryan D. Seguire, Senior Product Manager, “Capacitive Sensing Techniques and Considerations,” 2007. [Электронный ресурс] – РЕЖИМ

					ДП.ДЕ62.006.000 ПЗ	Арк.
						83
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОСТУПУ: <https://www.cypress.com/file/72986/download> // (дата звернення: 23.04.2020)

[20] Datalogic, “Miniature Sensors - S3Z.” 2013, [Електронний ресурс] – РЕЖИМ ДОСТУПУ:

<https://www.electricalautomationnetwork.com/PDF/ENGLISH/DATALOGIC/DSS3Z.pdf> // (дата звернення: 30.04.2020)

[21] Басистый И. В. and Петров Л. А., “Турникет универсальный,” RU56690U1, 2006.

[22] Digi-Key Electronics, “GL5516 - GL5549 Photoresistor datasheet.”, [Електронний ресурс] – РЕЖИМ ДОСТУПУ: <https://datasheetspdf.com/pdf-file/756858/ETC/GL5528/1> // (дата звернення: 01.05.2020)

[23] Atmel, “ATmega328P DATASHEET.” 2015, [Електронний ресурс] – РЕЖИМ ДОСТУПУ: [http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P\\_Datasheet.pdf](http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf) // (дата звернення: 01.05.2020)

[24] MCD Electronics Inc., “MCD-3621Ax-Bx (DUAL DIGIT LED DISPLAY).”, [Електронний ресурс] – РЕЖИМ ДОСТУПУ: [http://mcdelectronics.com/userfiles/1185/files/LED Displays/dual\\_digit\\_7\\_segment\\_display\\_GND-3621Ax-Bx.pdf](http://mcdelectronics.com/userfiles/1185/files/LED%20Displays/dual_digit_7_segment_display_GND-3621Ax-Bx.pdf) // (дата звернення: 03.05.2020)

[25] Беляков С., Гаврилов В., “Тиристоры и триаки - десять золотых правил,” Компоненты и технологии, №9, 2002, ISBN: 978-5-7883-0216-1.

[26] Повный А., “Что такое импульсный блок питания и чем он отличается от обычного аналогового,” Электрик Инфо, 2009, [Електронний ресурс] – РЕЖИМ ДОСТУПУ: <http://electrik.info/device/1081-что-такое-импульсный-блок-питания.html> // (дата звернення: 04.05.2020)

[27] NXP Semiconductors, “74HC/HCT4520 Dual 4-bit synchronous binary counter.” 1990, [Електронний ресурс] – РЕЖИМ ДОСТУПУ: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/556824/NXP/74HC4520.html> // (дата звернення: 06.05.2020)

					ДП.ДЕ62.006.000 ПЗ	Арк.
						84
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



[28] Philips Semiconductors, “Triacs BT137 series.” 1997, [Електронний ресурс] – РЕЖИМ ДОСТУПУ: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/16768/PHILIPS/BT137.html> // (дата звернення: 08.05.2020)

[29] Fairchild Semiconductor, “MOC3061M, MOC3062M, MOC3063M, MOC3162M, MOC3163M 6-Pin DIP Zero-Cross Phototriac Driver Optocoupler.” 2005, [Електронний ресурс] – РЕЖИМ ДОСТУПУ: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/499773/FAIRCHILD/MOC3062M.html> // (дата звернення: 08.05.2020)

[30] Мельник А. В., Бевза О. М., “Ємнісний датчик присутності,” Електронна та акустична інженерія, 2020.

					ДП.ДЕ62.006.000 ПЗ	Арк.
						85
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

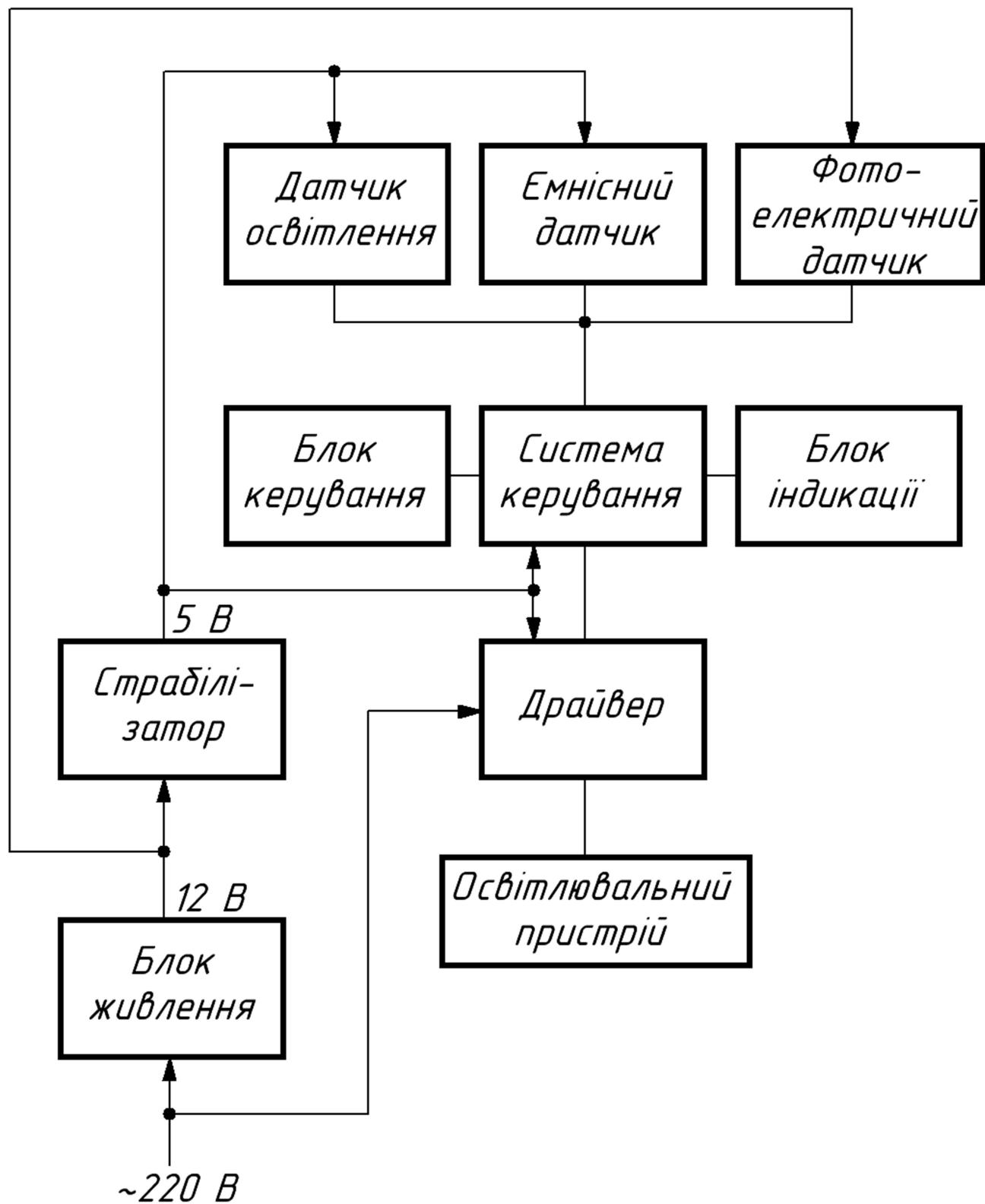
## ДОДАТОК А

[illegible]

Позна-чення		Найменування			Кільк.	Примітки
DD2		74HC4520			1	SOIC16W
		<u>Кварцеві резонатори</u>				
ZQ1		16,0 МГц			1	HC49
		<u>Транзистори</u>				
VT1, VT2		S9018			2	SOT23
		<u>Оптолари</u>				
U1		МОС3062			1	DIP6
		<u>Симістори</u>				
VS1		BT137E			1	TO220
		<u>Запобіжники</u>				
FU1		5 A, 250 V			1	GT1-4602A-5A/250V
		<u>Світлодіоди</u>				
HL1		3621AD			1	
HL2		GNL-5013GD			1	5мм, зелений
HL3		GNL-5013YD			1	5мм, жовтий
HL4		GNL-5013SRD			1	5мм, червоний
		<u>Кнопки</u>				
SB1...SB4		KLS7-TS6601-11			4	11мм, (OFF)-ON

					ДП.ДЕ62.006.000 ПЕ	Арк.
						2
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

[illegible]



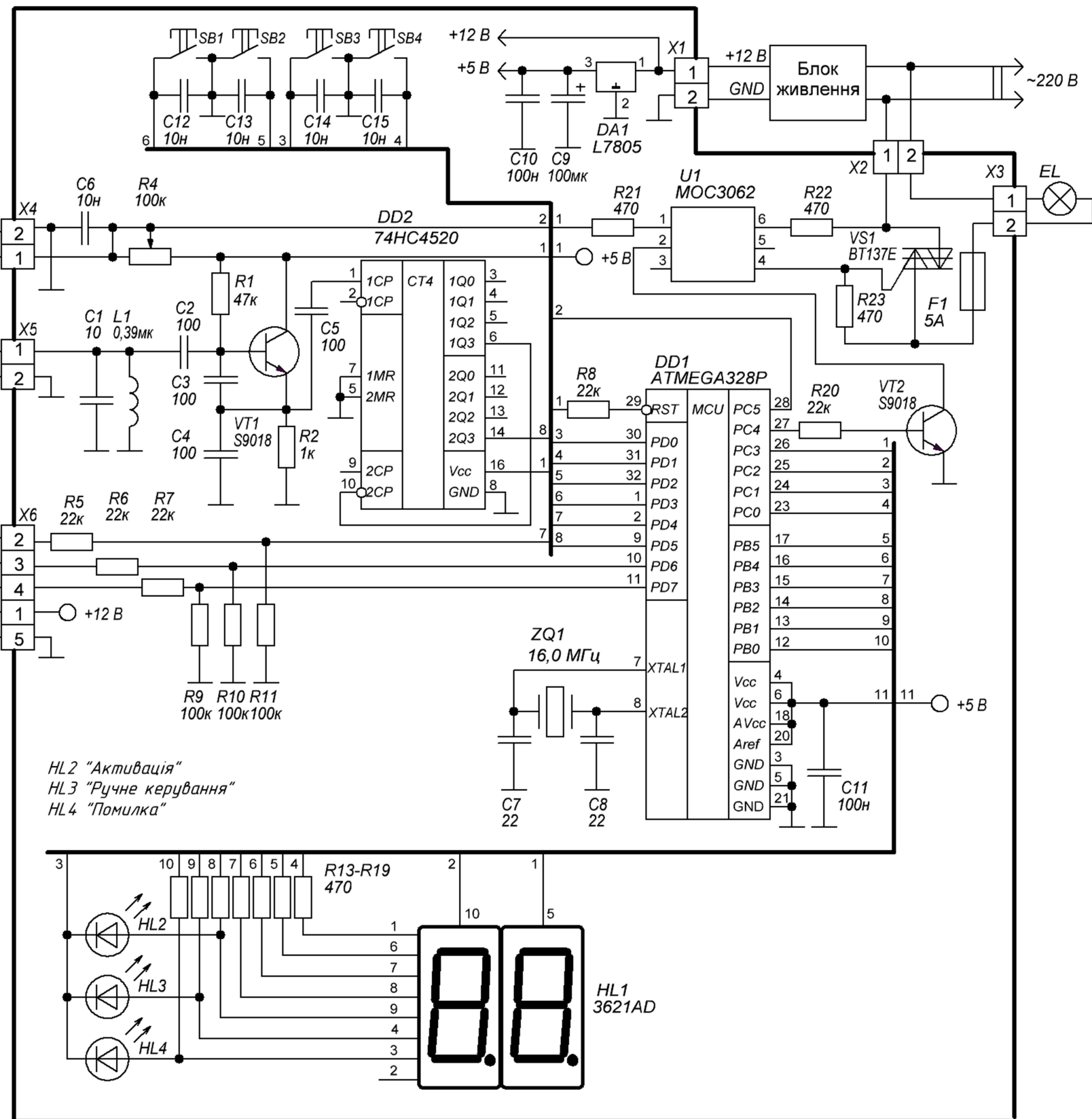
					ДП.ДЕ62.006.000 Е1							
					Електронна система автоматизації енергоспоживання в офісних приміщеннях	Літ.			Маса		Масш.	
											1:1	
ЗМ.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Схема електрична структурна	Лист 1			Листів 1			
Розробив		Мельник А. В.										
Перевірив		Бевза О. М.										
Т. Контр.												
						КПІ ім. Ізгоря Сікорського, ФЕМ, ЕПС, гр. ДЕ-62						
Н. Контр.		Чадюк О. В.										
Затвердив		Бевза О. М.										

SB1 "Ручне керування"  
 SB2 "Скидання присутності /  
 примус. увімк/вимк"  
 SB3 "Калібрування освітленості"  
 SB4 "Калібрування присутності"

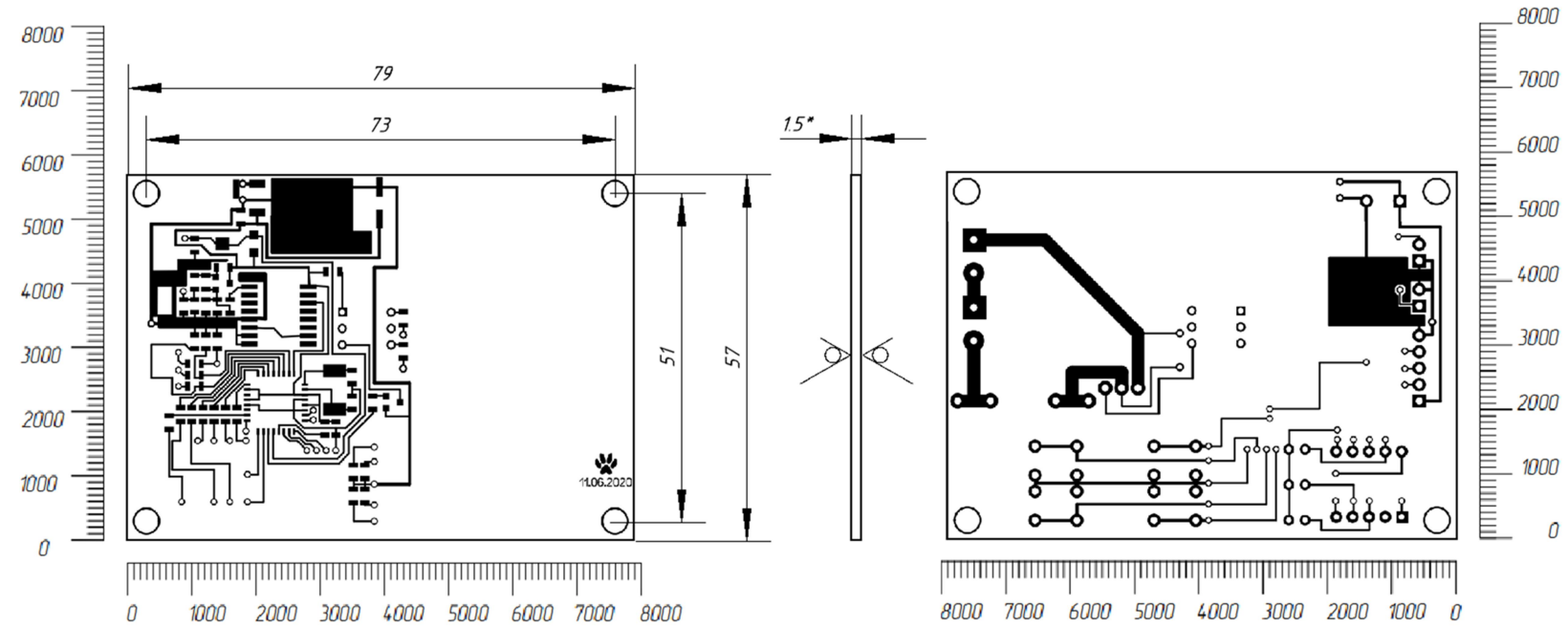
WA1 "Ємнісний датчик"  
 R3 "Датчик освітлення"

X1 "Живлення 12 В"  
 X2 "Живлення 220 В"  
 X3 "Вихід на навантаження"  
 X4 "Вхід датчика освітлення"  
 X5 "Вхід ємнісного датчика"  
 X6 "Вхід фотоелектричних датчиків"

HL2 "Активізація"  
 HL3 "Ручне керування"  
 HL4 "Помилка"



					ДП.ДЕ62.006.000 ЕЗ						
					Електронна система автоматизації енергоспоживання в офісних приміщеннях	Літ.			Маса	Масш.	
										1:1	
ЗМ.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Схема електрична принципова	Лист 1			Листів 1		
Розробив	Мельник А. В.										
Перевірив	Бевза О. М.										
Т. Контр.											
						КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФЕМ, ЕПС, гр. ДЕ-62					
Н. Контр.	Чадюк О. В.										
Затвердив	Бевза О. М.										



Таблиця 1

Умовні позначення	Кількість	Розмір, мм	Металізація	Розміри КП, мм
○	32	0,6 ±0,1	Так	1,2 ±0,1
○ □	6	0,8 ±0,1	Так	1,4 ±0,1
○ □	28	1,0 ±0,1	Ні	2,0 ±0,1
○	7	1,0 ±0,1	Ні	2,2 ±0,1
○ □	4	1,0 ±0,1	Ні	3,0 ±0,1
○	4	4,0 ±0,1	Так	4,6 ±0,1

Таблиця 2

Умовні позначення	Розміри, мм
■	3,5 x 2,0 ±0,05
┃	1,0 x 3,0 ±0,05
—	2,6 x 0,8 ±0,05
—	1,4 x 0,8 ±0,05
—	1,0 x 0,4 ±0,05

\*Розміри для довідок

1. Платовинна відповідати ГОСТ 23752-79.
2. Крок координатної сітки 0,01 мм. Ліній координатної сітки нанесені через кожні 100 кроків.
3. Клас точності монтажу 4 з ГОСТ 23751-86.
4. Допускається закруглення кутів контактних площин і провідників.
5. Виготовити плату комбінованим позитивним методом.
6. Параметри отворів наведені у таблиці 1. Параметри елементів провідного малюнка наведені у таблиці 2.

					ДП.ДЕ62.006.001 Е4							
					Електронна система автоматизації енергоспоживання в офісних приміщеннях	Літ.			Маса	Масш.		
									20 г	1:1		
						Лист 1			Листів 1			
						Дрцкована плата						
						КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФЕЛ, ЕПС, гр. ДЕ-62						
ЗМ.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата								
Розробив	Мельник А. В.											
Перевірив	Бевза О. М.											
Т. Контр.												
Н. Контр.	Чадяк О. В.											
Затвердив	Бевза О. М.											

КПІ ім. Ізоря Сікорського,  
ФЕЛ, ЕПС, гр. ДЕ-62

## S U M M A R Y

### Electronic system for automation of energy consumption for office premises

The diploma project of first educational level "Bachelor" by specialty 171 Electronics, specialization Electronic Instruments and Devices Melnyk Andrii Viktorovych. National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute». Faculty of Electronics, Department of Electronic Devices and Systems. Academic group DE-62. - Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2020. – 96p., Ill. 50, tables 2.

#### **Summary of the project:** 5 pages

The purpose of this diploma project is a review of available nowadays presence and motion sensors, familiarization with working principle, pros and cons of them, review the control systems and development the electronic system of automation of energy consumption for office premises on basis of chosen sensors. This work has a developmental character.

In this project was used an experimental method and the method of modeling. Based on information about sensors working principle and available control systems, was developed the scheme of the device that receives signals from the presence and motion sensors, processes information from them and controls the state of lighting device or devices.

The developed scheme was modeled in special software. On this stage were done the verification of correctness of connection of different electronic components and the correctness of work of the scheme with imitating signals from the sensors. The founded errors in the scheme were fixed. This is a modeling method, that allows to check the electric principal scheme for electric component linking errors and a correctness of scheme working on a general level.

The second stage is the test assembly of the fixed scheme. The electric components were mounted on the mock-up circuit board without soldering with using jumpers. To the scheme were connected sensors. On this stage were done the verification of this scheme with a supply of signals from sensors in real



environment. This is an experimental method that gives a possibility to find and fix errors and to check the working of the scheme at a more accurate level.

For checking the electric principal scheme (software testing) was used the software "Proteus 8 Demo" (freeware demo-version).

For testing and checking the real test scheme on the mock-up circuit board (hardware testing) were used devices and instruments:

- multimeter - device, that measuring physical quantities as voltage, amperage, resistance and other;
- frequency meter - device, that measuring a frequency of periodical signals;
- logic probe - device, that shows a logic state at the output or input of any electronic component (this purpose can performing a multimeter);
- transistor tester - device, that test electronic components (resistors, capacitors, coils, semiconductors etc.) and shows parameters or state of them;
- ISP programmer (USBasp) - device, that erases, reads and programs microcontrollers and memory integrated circuits in a pair with a personal computer (with using USB interface);
- mock-up circuit board - circuit board that allows to mount electric components without soldering, to assemble a test scheme and to check a work of this.

For the writing of program code and checking in was used the free software "Atmel Studio 6", for programming microcontrollers was used the free software "AVRDUDE 3.3", for printed circuit board tracing was used the software "Sprint Layout 6" (freeware version).

The electronic system for automation of energy consumption is used for controlling a lighting in a office premises. This is a system that consists of sensors, controlling device (control system) and lighting device.

This system using sensors: capacitance, photoelectric and lighting sensor.

Capacitance sensor is a metal layer that covered with a dielectric material (linoleum, carpet etc.) and is located on the floor. This element senses a presence of

movable or moveless objects (people) without any radiation. If the object emerges in a controlled environment, the capacitance of the sensor increases and when it will be greater than a set capacitance level after calibrating, the sensor will activate.

Photoelectric sensors are located in the doorway. These elements define the direction of object movement due to interruptions of light beams which are radiated by photoelectric transmitters and received by photoelectric receivers.

Light sensor is located near the source of natural light (near window). This element watches out for a natural light level and, if it is lower than set level after calibration and capacitance and photoelectric sensors fixed an activity in controlled environment, the control system will activate the lighting device. If this level is higher or capacitance sensor doesn't sense a presence – system will deactivate the lighting device.

The control system is based on microcontroller Atmega328P in LQFP package. It has all essential modules for processing electric signals from the sensors: timers, ADC (analog-digital converter) and input-output ports.

A capacitance sensor is connected to the frequency generator. Output frequency depends on capacitance of LC-contour. Capacitance of sensor forms a capacitor that is connected in parallel with capacitor in LC-contour. As a result the capacitance of contour and of sensor summed, and resonance frequency changes. The system fixes this change with using timers. The first timer works as counter. It has a register, which counts a number of impulses from the capacitance sensor generator. Microprocessor regularly reads and resets this register. The second timer works as comparator. It counts impulses from inner clock generator in microcontroller and compares counter value with constant. If value in counter and constant are equal or counter is overflowed the timer generates an interruption and a microprocessor reads and resets a value in the counter of the first timer.

Photoelectric sensors generate binary-logic signal consisting of two levels: high “1” and low “0”. This is a very simple processing signal, so the outputs of photoelectric receivers are connected to the input-output ports lines configuring as inputs via resistors. Microprocessor reads a state of these sensors directly via ports.

Lighting sensor is a photoresistor, which changes self resistance depends on the level of light that falls on its surface. A photoresistor is connected in a scheme of resistance voltage divider. The lighting level changes a voltage on the output of divider, so the output signal is analog. Microcontroller converts it in a digital signal with using an analog-digital converter (ADC) and analyze a voltage level value.

The driver has a triac, which commutate a supply from the power supply network with alternate voltage 220 V to the lighting device. Triac is controls by optotriac, which insulates the low voltage scheme part from the high voltage scheme part. Also this element reduces electrical interferences and pulsations that can affect the work of other devices. Optotriac fixes voltage zero-crossing on its electrodes and change a state of the triac only in this moment. Thanks to this the triac supplies voltage to the lighting device smoothly, that reduces power consumption jumps.

The lighting device can be a lamp, lamps, a panel or other devices powered by alternating voltage 220 V.

The systems has main parameters:

- system voltage supply - 10 V - 12 V;
- system maximum amperage - 500 mA;
- threshold capacitance (sets during presence calibration);
- threshold lighting (sets during lighting calibration);
- controlled device voltage supply - alternating voltage 220 V;
- maximal controlled device power - 100 W without cooler and up to 500 W with cooler;
- inertia reaction - from 1 ms.

After the tests, the following results of system working were obtained:

- the capacitance sensor generator has own frequency 36,5 MHz, nominal frequency 14,5 MHz with connected capacitance sensor (metal plate with square 1625 cm<sup>2</sup>);

- if a capacitance sensor generator does not correctly working the resistor R1 must be changed;
- the sensitivity of capacitance sensor to a human with 75 kg of mass is up to 85 cm (with same sensor surface square);
- if a light sensor has very low sensitivity R4 must be configured;
- the system correctly processes signals from sensors and correctly does a calibration;
- the driver commutate a supply to the controlling device with up to 100 W without overheating and cooling, and up to 500 W with cooling.

This device using for controlling lighting in small office rooms with one doorway.

**Keywords:** capacitance sensor, photoelectric sensor, light sensor, automatic light control, automatic energy consumption, energy-saving system, presence detector.